



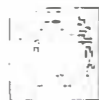
UNIVERSITE DE CORSE

**D.E.S.S. « RESSOURCES ANIMALES ET VEGETALES »
« Valorisation des Productions dans un Développement Intégré »**

**UTILISATION DE
DIACHASMIMORPHA TRYONI (CAMERON)
EN LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE
CERATITIS CAPITATA (WIEDEMANN)
A LA REUNION.
ETUDE DES STIMULI INTERVENANT DANS LA
RECHERCHE DE L'HOTE.**

Mémoire présenté par :

GARDON Marilyne



**Laboratoire d'entomologie de la
Bretagne
CIRAD-FLHOR REUNION**

Septembre 2000

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	i
RESUME.....	ii
PRESENTATION DU CIRAD.....	iii
SOMMAIRE.....	iv

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

1^{ère} PARTIE : GENERALITES ET SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. PRESENTATION DE L'ILE.....	2
1.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET CLIMAT.....	2
1.2. L'AGRICULTURE REUNIONNAISE.....	2
1.3. IMPORTANCE ECONOMIQUE DES MOUCHES DES FRUITS.....	3
2. LA MOUCHE MEDITERRANEENNE DES FRUITS : <i>CERATITIS CAPITATA</i> (WIEDEMANN).....	4
2.1. ORIGINE ET DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE.....	4
2.2. PLANTES HOTES	4
2.3. TAXONOMIE	5
2.4. DESCRIPTIF MORPHOLOGIQUE.....	5
2.5. CYCLE BIOLOGIQUE.....	6
2.6. DEGATS CAUSES ET METHODES DE LUTTE.....	6
3. LE PARASITOÏDE ETUDIE : <i>DIACHASMIMORPHA TRYONI</i> (CAMERON).....	7
3.1. ORIGINE ET DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE	7
3.2. TAXONOMIE	7
3.3. DESCRIPTIF MORPHOLOGIQUE	8
3.4. BIOLOGIE	8
4. TECHNIQUES D'ELEVAGE DU PARASITOÏDE ET DE SON HOTE.....	9
4.1. CONDITIONS D'ELEVAGE DE <i>CERATITIS CAPITATA</i>	9
4.2. CONDITIONS D'ELEVAGE DE <i>DIACHASMIMORPHA TRYONI</i>	10
5. LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE LES TEPHRITIDAE	11
6. OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	12

2^{ème} PARTIE : MATERIEL ET METHODES

1. UTILISATION DE <i>D. TRYONI</i> EN LUTTE BIOLOGIQUE	14
1.1. PROSPECTION DES SITES DE LACHERS	14
1.2. METHODOLOGIE DES LACHERS ET EVALUATION DE L'INSTALLATION.....	14
2. OPTIMISATION DES TECHNIQUES D'ELEVAGE DE <i>D. TRYONI</i>	15
2.1. PRESENTATION.....	16
2.2. METHODE DE RECUPERATION DE PUPES	16
2.2.1. <i>Comparaison entre la méthode standard et les tamisages</i>	16
2.2.2. <i>Comparaison entre la méthode standard et la flottaison..</i>	16
2.3. TEMPS DE SECHAGE DES PUPES	16
3. ETUDE DU COMPORTEMENT DE RECHERCHE DE L'HOTE CHEZ <i>D. TRYONI</i>.....	17
3.1. OBJECTIFS.....	17
3.2. MATERIELS	17
3.3. METHODES	18
3.4. DEROULEMENT DES ESSAIS	18
3.4.1. <i>Etude méthodologique en tunnel de vol</i>	18
3.4.2. <i>Comparaison de différents stimuli visuels : la couleur de la source</i>	19
3.4.3. <i>Stimuli olfactifs seuls vs stimuli visuels et olfactifs</i>	19

3^{ème} PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

1. RESULTATS DES LACHERS DE <i>D. TRYONI</i> EN MILIEU NATUREL.....	20
1.1. LIEU REPERTORIE.....	20
1.2. ASPECTS QUALITATIFS ET QUANTITATIFS DES LACHERS.....	20
1.3. RESULTATS ET DISCUSSION.....	20
2. RESULTATS DE L'OPTIMISATION DE L'ELEVAGE DES PARASITOÏDES.....	23
2.1. RESULTATS DES TECHNIQUES DE TAMISAGE	24
2.2. INFLUENCE DU RINÇAGE LORS DE LA RECUPERATION DES PUPES.....	24
2.3. INFLUENCE DU TEMPS DE SECHAGE DES PUPES.....	25
3. RESULTATS DE L'ETUDE COMPORTEMENTALE.....	26
3.1. INFLUENCE DE LA PERIODE DE LA JOURNEE.....	26
3.2. INFLUENCE DE LA COULEUR DE LA SOURCE.....	27
3.3. INFLUENCE DE LA NATURE DU STIMULUS.....	28

CONCLUSION.....	29
------------------------	-----------

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	30
---	-----------

MERCI,

A Michel TREBEL, délégué régional du CIRAD-REUNION et Régis GOEBEL, entomologiste sympathique et responsable du programme Canne à sucre, qui m'ont accueilli au laboratoire d'entomologie de la station "La Bretagne", St Denis.

A Serge QUILICI pour m'avoir confié cette étude et pour la grande autonomie qu'il m'a accordé tout au long de mon stage.

A Fred GOURDON pour son aide technique, ses blagues et jeux de mots, sa présence au labo et sur le terrain, sans oublier ses problèmes de voiture !

A Bea HURTREL, pour sa bonne humeur, son aide à la biblio et aux logiciels, et aussi pour avoir pris de son temps de vacances pour m'aider.

A toute l'équipe de l'entomologie de la Bretagne, Jean-Seb et Manu (partis trop vite), Abdul, Jean-Marie, Pierre, Charline, Pascal, Jean-Claude, Richard....

Mais aussi un grand merci à tous mes amis sans qui ce stage n'aurait pas été aussi agréable : Poupone, Ben, les Bébés chat, Canardo, Claire, Gabi, Alex, Christelle, Julie, Nico, Aymeric, Bertrand, Sophie.... Aux amis de la pause café, Louis-Marie, Julien, Aurélien, Régis, Béra, Manu.....

A Ivan...

RESUME

A la Réunion, la mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitis capitata* (Wiedmann) (Diptera : Tephritidae), constitue un ravageur des cultures fruitières et maraîchères. En effet, polyphage, elle s'attaque à différents fruits où elle dépose ses oeufs. Il existe un parasitoïde exotique de cette mouche, *Diachasmimorpha tryoni* (Cameron), que l'on élève au CIRAD-FLHOR en vue de l'acclimater dans l'île.

Cette étude porte sur trois domaines touchant à ce parasitoïde : une première partie porte sur des lâchers de *D. tryoni* dans une zone de moyenne altitude. Après un suivi de ces lâchers, on retrouve des individus parasitoïdes 63 jours après le premier lâcher. On ne peut pas encore parler d'installation, mais ceci laisse de grands espoirs. En outre, on retrouve des parasitoïdes indigènes de la mouche des fruits (*Psytalia insignipennis*) dans nos échantillons récoltés. Cela peut laisser à penser que l'utilisation de ce parasitoïde à la Réunion pour limiter les populations de mouches dans les zones réservoirs peut être envisageable.

La deuxième partie de cette étude porte sur l'optimisation des techniques d'élevage de *D. tryoni*. On travaille exclusivement sur le traitement des pupes : on teste ainsi différentes manières de traiter celles-ci avant leur conservation, en attendant l'émergence des adultes. On arrive à la conclusion que les pupes nécessitent une humidification, même rapide, avant d'être conservées. La technique donnant le meilleur rendement et étant la plus évidente et rapide semble être le tamisage à sec.

Enfin, au cours de la troisième partie, on étudie le comportement de *D. tryoni* dans la recherche de l'hôte. Toutes les expériences se déroulent dans un tunnel de vol et on examine l'influence de trois paramètres : la période de la journée, la couleur de la source (stimulus visuel) et la nature du stimulus (stimulus olfactif ou combinaison de stimuli olfacto-visuels). On remarque que les femelles naïves de *D. tryoni* volent beaucoup plus en début d'après-midi que le matin.

De plus, la couleur rouge déclenche préférentiellement une réponse comportementale de la part des femelles. C'est une couleur qui rappelle les fruits bien mûrs, voire pourris, et qui sont donc plus susceptibles de contenir des larves-hôtes. Le rouge est aussi la couleur de nombreux fruits-hôtes de *C. capitata*.

Enfin, on note que les femelles réagissent à une combinaison de stimuli de nature à la fois olfactive et visuelle.



PRESENTATION DU CIRAD



1. HISTORIQUE ET STATUT

Le CIRAD, Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, est un organisme français spécialisé en agriculture des régions tropicales et subtropicales. Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC), sous tutelle des ministères chargés de la recherche et de la coopération, il est né en 1984 de la fusion d'instituts de recherche en sciences agronomiques, vétérinaires, forestiers et agroalimentaires des régions chaudes.

2. SES MISSIONS

Le CIRAD est un organisme scientifique dont les missions principales sont :

- ☞ de contribuer au développement des régions chaudes par des recherches et des réalisations expérimentales, par la formation de chercheurs nationaux et internationaux, par la conduite d'une politique dans le domaine de l'information scientifique et technique,
- ☞ d'apporter son concours aux institutions nationales de recherche agronomique, à la demande de gouvernements étrangers,
- ☞ de contribuer par une analyse de la conjoncture scientifique, à l'élaboration de politiques dans ses domaines de compétence.

Les missions sont détaillées dans un contrat d'objectif signé avec l'Etat, où sont précisés les objectifs à longs, moyens et courts termes. Le dernier contrat d'objectifs signé en 1996 entre l'état et le CIRAD s'inscrit dans la perspective d'une croissance de la production agricole et forestière des pays en voie de développement, plus respectueuse de l'environnement. Il définit des axes prioritaires comme l'amélioration des filières de production et des techniques de transformation des produits, la gestion économe et durable de l'espace et des ressources naturelles, la prise en compte de la stratégie des acteurs dans les politiques de développement agricole.

Le contrat fixe également des objectifs de partenariat :

- ☞ renouveler la coopération avec le Sud, notamment en diversifiant les modalités de présence du CIRAD sur le terrain, améliorer l'intégration du Nord,
- ☞ poursuivre l'adaptation de l'établissement à ses missions par la mise en place de projets regroupant les compétences de plusieurs départements, d'instruments de pilotage budgétaire et comptable, de procédures d'évaluation du personnel.

Le CIRAD conduit ses activités à partir de ses propres centres de recherche et stations expérimentales en France métropolitaine, dans les départements et territoires français d'outre-mer, et aussi dans plus de 45 pays répartis sur les cinq continents, en coopération avec des structures nationales de recherche-développement, les centres internationaux (CGIAR) en appui à des projets publics ou privés. Pour l'ensemble de ses activités, le CIRAD est doté d'un budget annuel de l'ordre d'un milliard de francs.

3. ORGANISATION STRUCTURELLE

Sur un effectif total de 1800 personnes, 900 cadres scientifiques et techniques, dont 400 sont en régions chaudes, sont susceptibles d'investir sur des projets de recherche-développement. Le CIRAD collabore avec environ 90 pays d'Afrique, d'Asie, du Pacifique, d'Amérique latine et d'Europe.

En France, le siège social se situe en région parisienne, le dispositif de recherche est essentiellement localisé au Nord de Montpellier sur le parc technologique AGROPOLIS réunissant des établissements scientifiques spécialisés en agronomie, mais aussi en Corse (CIRAD-INRA) et dans les DOM-TOM : Guadeloupe, Guyane, Martinique, Mayotte, Nouvelle-Calédonie, Polynésie française, **La Réunion**, ainsi que dans les 90 pays collaborant avec le CIRAD.

Depuis le 1er janvier 1998, le CIRAD a entamé une réforme afin de rénover et moderniser sa gestion, de simplifier son organisation et d'assouplir son mode de fonctionnement. Les départements sont au nombre de 7 englobant 28 programmes de recherche.

Les 7 départements sont :

➤ **Cultures pérennes (CIRAD-CP)**

dont les programmes sont : Cacao, Café, Cocotier, Hévéa et Palmier à huile

➤ **Élevage et médecine vétérinaire (CIRAD-EMVT)**

dont les programmes sont : Ecosystèmes naturels et pastoraux, Productions animales et Santé animale

➤ **Forêt (CIRAD-FORET)**

dont les programmes sont : Arbres et Plantations, Bois et Forêts naturelles

➤ **Amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique (CIRAD-AMIS)**

dont les programmes sont : Agroalimentaire, Agronomie, Biotechnologies et ressources génétiques végétales (Biotrop), Economie, politiques et marchés (Ecopol), Modélisation des plantes (Amap) et Protection des cultures

➤ **Cultures Annuelles (CIRAD-CA)**

dont les programmes sont : Canne à sucre, Coton, Cultures alimentaires et Ecosystèmes cultivés

➤ **Territoires, environnement et acteurs (CIRAD-TERA)**

dont les programmes sont : Agricultures familiales, Espaces et ressources, Savanes et Systèmes irrigués et Tropiques humides

➤ **Productions fruitières et horticoles (CIRAD-FLHOR)**

dont les programmes sont : arboriculture fruitière, bananiers et plantains, productions horticoles.

C'est dans ce dernier département, dans le programme Arboriculture Fruitière, dans le projet « mouches des fruits » à la Réunion que s'inscrit ma mission.

Le produit des travaux réalisés au CIRAD donne naissance à :

- ❖ des publications, des logiciels, des brevets, des équipements et procédés (soit développés dans le cadre de filiale, cession de licence, vente de plans, brevets...),
- ❖ des formations (statistiques, informatiques, gestion...),
- ❖ des études, des expertises,
- ❖ des ouvrages (papiers ou multimédia).

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les mouches des fruits (Diptera : Tephritidae) sont des ravageurs des cultures redoutés sur tous les continents. Parmi elles, la mouche méditerranéenne des fruits *Ceratitis capitata* (Wiedemann) se répartit dans les zones tropicales et sub-tropicales. A la Réunion, elle a été introduite au début du siècle et s'attaque aux fruits de divers familles. En l'absence d'ennemis naturels efficaces, un parasitoïde exotique fut importé depuis Hawaï en 1995 par le CIRAD : *Diachasmimorpha tryoni* (Cameron).

D. tryoni est encore actuellement élevé au Laboratoire d'Entomologie du CIRAD "La Bretagne", à St Denis, en vue d'une acclimatation sur le sol réunionnais. De nombreux lâchers ont été fait à basse altitude (Quilici et Barbet, 1997), mais sans réel succès. Ce parasitoïde reste encore mal connu notamment en ce qui concerne les mécanismes de réponse des femelles de *D. tryoni* dans la recherche de l'hôte et il est nécessaire de poursuivre les travaux qui ont été commencés (Hurtrel, 2000).

Il est évident que l'optimisation des techniques d'élevage du parasitoïde, ainsi que la découverte des stimuli déclenchant la réponse des femelles de *D. tryoni* dans la recherche de l'hôte vont de pair avec des lâchers effectués dans des conditions privilégiées, et permettront peut-être d'assurer une acclimatation plus aisée du parasitoïde. Les interrelations entre le milieu et l'insecte reste primordiales dans l'installation d'un nouvel individu et il est toujours intéressant et important de connaître les liens qui se tissent entre les deux.

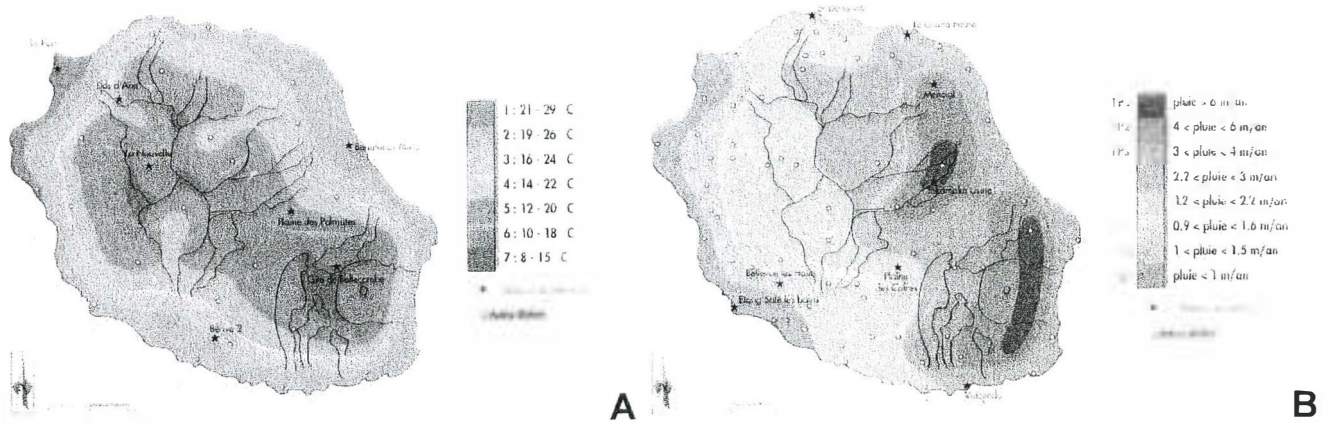
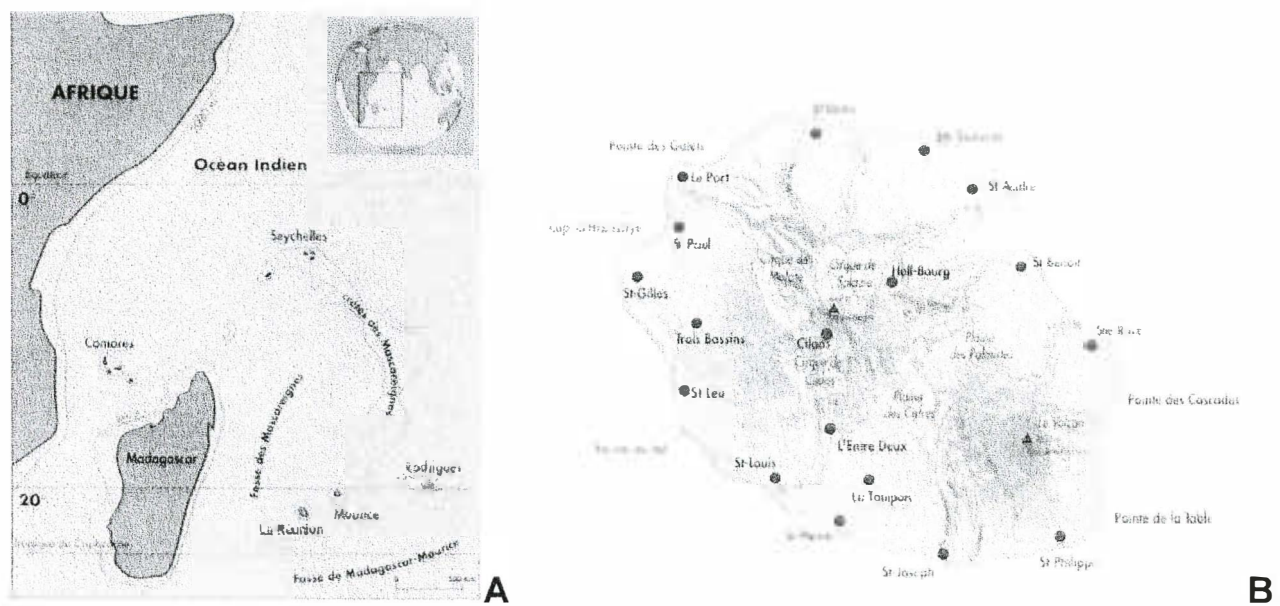
Cette étude sera donc dirigée selon trois axes principaux : tout d'abord l'utilisation des parasitoïdes en lutte biologique. On effectue un lâcher dans des lieux répondant à divers critères qui permettront peut-être une meilleure adaptation de *D. tryoni*. Ensuite, lâcher des individus signifie que le rendement de l'élevage est tel que l'on peut à la fois libérer des individus tout en maintenant l'élevage. Et pour cela, il faut que le rendement soit le meilleur possible, d'où l'intérêt d'avoir un élevage dans des conditions optimales. Nous travaillerons donc sur l'optimisation des traitements des pupes avant la conservation, en attente de l'émergence des adultes. Enfin, la troisième partie de ce rapport vise à affiner nos connaissances concernant la réponse des femelles de *D. tryoni* à divers stimuli, olfactifs et visuels, ainsi que les conditions abiotiques qui permettent le vol des femelles au cours de la recherche de l'hôte.

1^{ère} PARTIE :

GENERALITES

ET

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE



1. PRESENTATION DE L'ILE

1.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET CLIMAT

♦ *Géographie* (Figure 1).

L'île de la Réunion est un Département français d'Outre-Mer, situé dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien, par 21°06' de latitude Sud et 55°32' de longitude Est. Elle appartient à l'archipel des Mascareignes, légèrement au Nord du tropique du Cancer. Cette île volcanique tropicale a une superficie de 2512 km² (soit 3,5 fois inférieure à celle de la Corse) et culmine à 3069 m.

L'île a été formée il y a trois millions d'années par la naissance du Piton des Neiges (3069 m) au centre de l'île. Au fil du temps, les flancs se sont effondrés pour laisser place aux trois cirques : Mafate, Salazie et Cilaos. Un peu plus à l'Est, on rencontre un deuxième massif montagneux dominé par le Piton de la Fournaise (2631 m), volcan de type "hawaïen" toujours actif. Ces deux massifs sont séparés par de hautes plaines : La plaine des Palmistes et la plaine des Cafres.

♦ *Climat* (Figure 2).

La Réunion est soumise à un climat tropical humide avec deux saisons marquées. L'hiver, de mai à octobre, est la saison sèche et fraîche : en effet, les températures sont douces et les précipitations peu abondantes. L'été, de novembre à avril, est considéré comme la saison chaude, ou "saison des pluies" : les températures sont plus élevées et les pluies sont beaucoup plus importantes, c'est aussi la période où le risque de formation de dépressions tropicales et de cyclones est le plus fort.

Il existe une forte amplitude thermique sur l'île, dont la cause principale est l'océan qui joue le rôle de régulateur thermique, mais aussi les vents d'Est, les alizés, qui soufflent une bonne partie de l'année (Figure 2A).

De même, on note une pluviométrie variable d'un point à l'autre. A l'Est, la côte "au vent" qui est soumise aux alizés, présente des précipitations beaucoup plus importantes que la côte "sous le vent" (Ouest), qui est protégée des vents par le relief de l'île, quelle que soit la saison (Météo-France, 1997) (Figure 2B).

Ainsi, la caractéristique principale de l'île est la multitude de microclimats qui existent, en fonction de l'exposition aux vents et de l'altitude. Le relief et le régime des alizés engendrent des variations localisées de températures, de précipitations et de végétation.

1.2. L'AGRICULTURE REUNIONNAISE

La nature volcanique de l'île et son relief particulièrement tourmenté entraînent une utilisation réduite du territoire à des fins agricoles. La SAU (Surface Agricole Utilisée) représentait 43145 ha en 1998, dont plus de la moitié présentant une pente supérieure à 20% (DAF, 1999). Cette SAU reste marquée par une tendance régulière à la baisse de 1% par an (surtout pour les exploitations de moins de 5 ha). Néanmoins, les structures de taille inférieure

à 5 ha représentent toujours près de 75% du nombre total d'exploitations pour 25% de la SAU (DAF, 1999).

La canne à sucre a occupé dans l'agriculture réunionnaise une place centrale, notamment du fait de sa résistance aux cyclones. Cependant, d'autres activités se sont développées, comme l'élevage, les cultures fruitières, les cultures hors sol et le maraîchage. Ainsi, par rapport à un indice de 100 pour la période 1980-1984, la production animale atteint actuellement l'indice 196, les cultures fruitières l'indice 130 et la production de légumes l'indice 146. La production du secteur fruits et légumes représente aujourd'hui en valeur près du tiers de la production agricole totale (DAF, 1997). En revanche, les productions traditionnelles telles le géranium, le vétiver et la vanille sont en régression structurelle forte.

Cette diversification des cultures date des années 70 et a été initiée par des mesures d'aide accordées par le Département afin de diminuer les importations massives de fruits et légumes, mais aussi d'exporter des fruits d'excellente qualité gustative et sanitaire. A la demande des agriculteurs et notamment pour lutter contre de nombreux problèmes phytosanitaires, souvent liés à l'introduction accidentelle de ravageurs comme les Tephritidae, le Conseil Général décida de faire appel à l'IRFA (Institut de Recherche sur les Fruits et Agrumes), aujourd'hui CIRAD FLHOR, qui s'implanta à la Réunion en 1967.

1.3. IMPORTANCE ECONOMIQUE DES MOUCHES DES FRUITS

Au niveau mondial, l'importance des dégâts des mouches des fruits sur les cultures maraîchères et fruitières justifie les énormes moyens mis en place pour lutter contre ces ravageurs.

Le problème "mouche des fruits" est devenu une arme économique avec l'harmonisation mondiale des politiques de quarantaine. Certains pays ont les moyens de mettre en place un système de quarantaine rigoureux, alors que d'autres se voient dans l'impossibilité d'exporter leur production, susceptible d'être contaminée par une espèce indésirable. A l'île de la Réunion, les organismes concernés par la protection des végétaux ont mis en place un réseau de piégeage afin de surveiller une éventuelle introduction d'espèces non présentes sur l'île. Malgré ces précautions, une espèce de mouche des fruits, *Bactrocera zonata* a tout de même réussi à s'introduire au début de l'année 2000.

Les problèmes engendrés par les Tephritidae à la Réunion semblent avoir commencé en 1960 (Etienne, 1982). Il existe peu d'estimations chiffrées des dégâts causés par les mouches des fruits à la Réunion. Seule une étude préliminaire a été réalisée sur l'impact de *Ceratitis rosa* et *C. capitata* sur des vergers de manguiers, agrumes et pêchers : l'impact économique a été estimé à près de 3 millions de francs par an, 4 millions quand on prend en compte le coût de la lutte. Si l'on considère les arbres fruitiers isolés et les vergers créoles, l'impact se monte à plus de 6 millions de francs (Bunge Vivier, 1993).

La Réunion semble rassembler différentes conditions favorables au développement des populations de Tephritidae, ce qui explique la difficulté de contrôler ou éradiquer ces ravageurs. Tout d'abord, le climat tropical humide correspond bien aux exigences écologiques des espèces de mouches présentes, qui rencontrent toute l'année des conditions climatiques favorables à leur développement (Etienne, 1982). Par ailleurs, les cultures maraîchères et fruitières cultivées quasiment toute l'année fournissent une succession de plantes hôtes à un

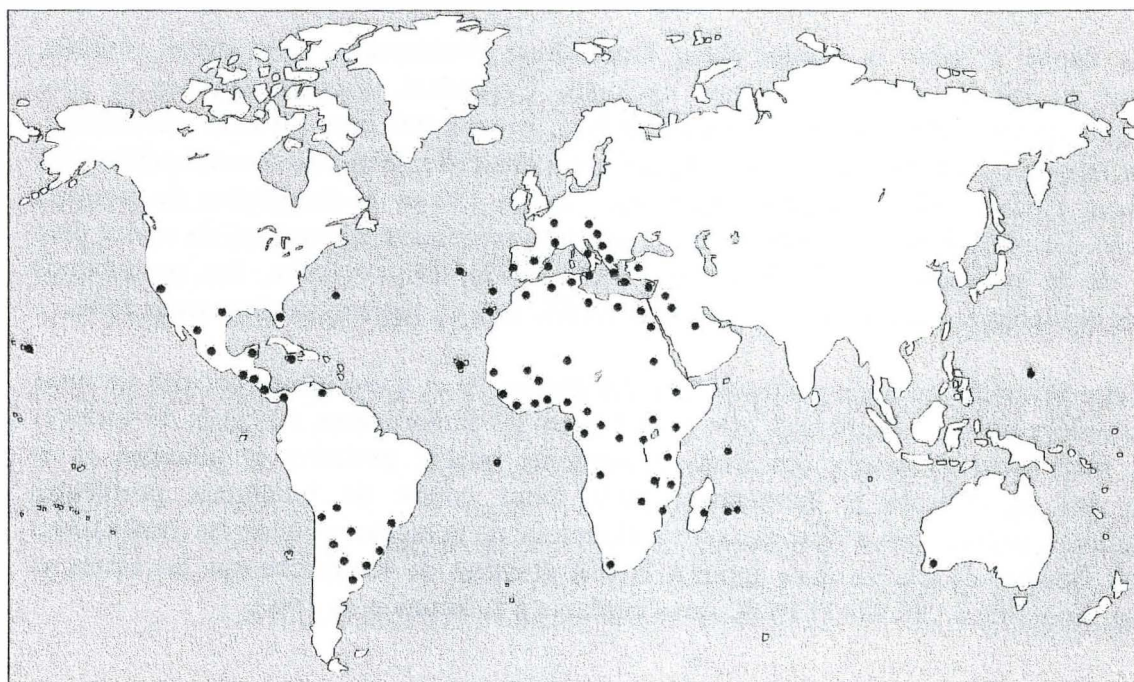


Figure 3 : Répartition géographique de *Ceratitidis capitata* (Wiedemann) (CABI, 1988).

● Présente ● Eradiquée

stade de maturité favorable, permettant une multiplication continue de ces ravageurs. Il faut noter aussi la grande importance des espèces sauvages qui constituent d'importants réservoirs de Tephritidae. Enfin, il ne semble pas exister d'antagonistes naturels indigènes efficaces de ces mouches à la Réunion (Simon, 1998).

2. LA MOUCHE MEDITERRANEENNE DES FRUITS, *CERATITIS CAPITATA* (WIEDEMANN) (DIPTERA : TEPHRITIDAE)

2.1. ORIGINE ET DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE

L'aire d'origine de l'espèce reste encore un sujet de controverse. Toutefois, on a pu confirmer récemment son origine africaine subsaharienne par le biais de techniques bio moléculaires, comme l'électrophorèse (Malacrida *et al.*, 1992) et les RAPD (Baruffi *et al.*, 1995).

Aujourd'hui, l'espèce est présente dans la région méditerranéenne, et dans de nombreux pays tropicaux et subtropicaux. On la retrouve notamment dans de nombreux pays d'Afrique, d'Amérique centrale et du Sud, du Bassin Méditerranéen, en Australie et à Hawaï (Figure 3). Elle est également présente dans diverses îles de l'Océan Indien (Réunion, Maurice, Seychelles, Mayotte) (Quilici, 1997). Elle est par contre absente d'Asie, alors qu'en Amérique du Nord des foyers sont chaque année recensés aux USA, où ils sont régulièrement éradiqués.

A la Réunion, on note la présence de trois espèces de *Ceratitis* nuisibles aux fruits : *C. capitata*, *C. rosa* et *C. catoirii* (Etienne, 1982). *C. capitata* se limite aux zones d'altitude inférieure à 1000m, sur tout le pourtour de l'île.

2.2. PLANTES-HOTES

Son extrême polyphagie en fait un des ravageurs les plus importants économiquement dans le monde. En effet, sa gamme d'hôtes comprend plus de 250 espèces végétales (Liquidó *et al.*, 1991).

A la Réunion, les fruits de 31 plantes peuvent être atteints à des degrés divers (Etienne, 1982; Quilici & Franck, non publ.). De nombreuses espèces fruitières cultivées peuvent être victimes de ses attaques : les agrumes (*Citrus* spp.), la mangue (*Mangifera indica* L.), la goyave (*Psidium guajava* L.), le goyavier de Chine (*Psidium cattleianum* Sabine), la bibasse (*Eriobotrya japonica* (Thumb) Lindl.). C'est également le cas de certaines espèces maraîchères comme le piment (*Capsicum frutescens* L.) et le poivron (*Capsicum annuum* L.) (Tableau 1).

En outre de nombreuses espèces sauvages ou subspontanées appartenant à diverses familles peuvent constituer des réservoirs de multiplication : le badamier (*Terminalia catappa* L.), le coing de Chine (*Mimusops elengi* L.), ou le café (*Coffea* spp.) (Etienne, 1982).

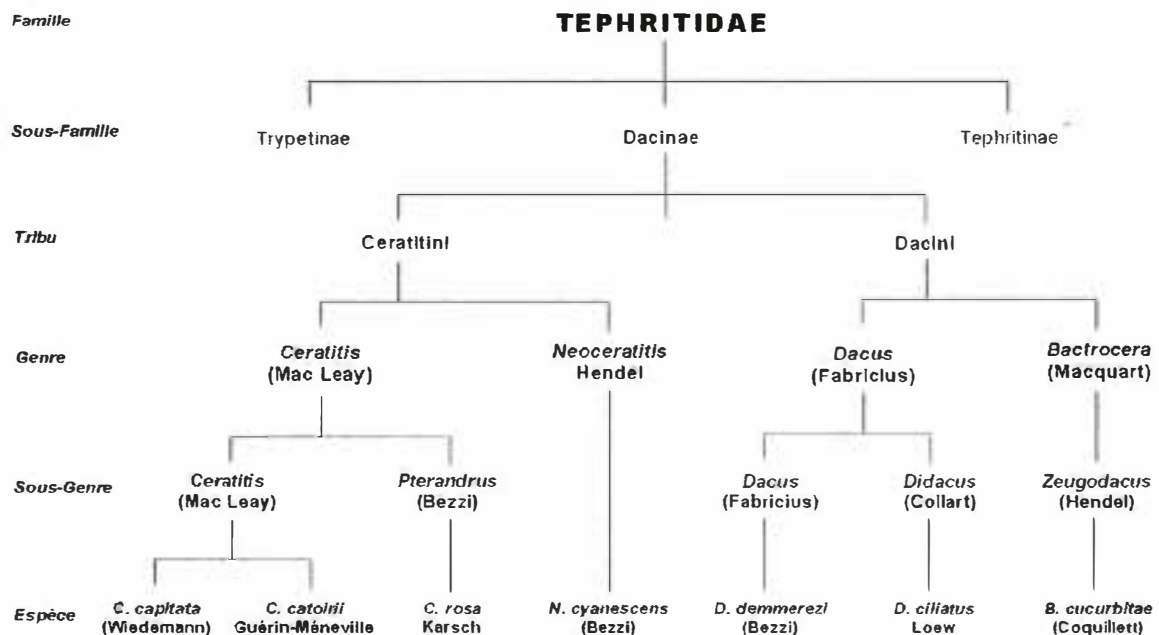
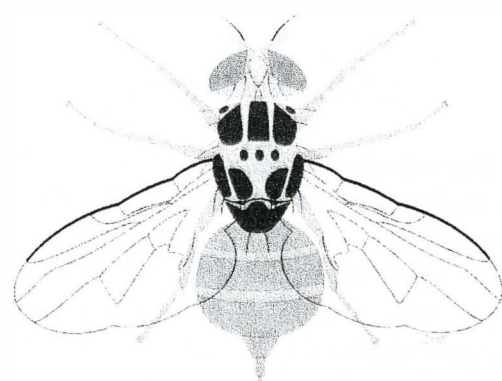
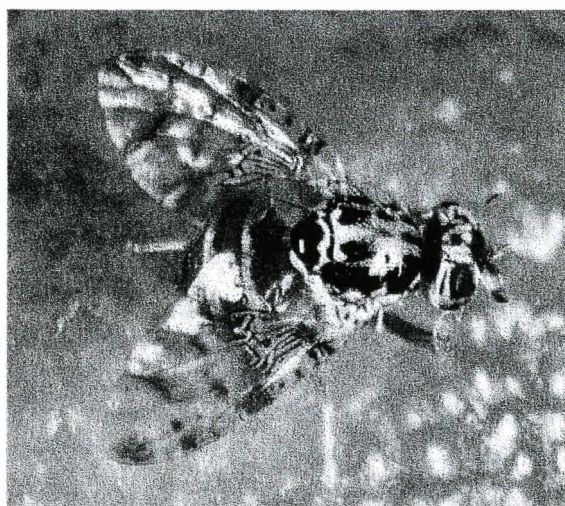


Figure 4 : Position taxonomique des espèces de Tephritidae à l'île de la Réunion (Etienne, 1982).



Ceratitis capitata Wied.
adulte femelle
(dessin de B. Hurtrel)

Figure 5 : La mouche méditerranéenne des fruits, *Ceratitis capitata* (Wiedemann). Femelle.
Cliché de B. HURTREL

Tableau 1: Plantes hôtes de *C. capitata* (Wiedemann) présentes à la Réunion, d'après Etienne, 1972 (1); Quilici & Franck, non publié (2).

Famille	Nom latin	Nom générique	
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	Mangue	(1)
Annonaceae	<i>Cananga odorata</i> Hook F. & Thomas	Ylang-Ylang	(2)
Apocynaceae	<i>Carissa macrocarpa</i> (Eckl.) DC	Prune du Natal	(2)
	<i>Thevetia peruviana</i> (Pers.) Schum.	Thevetia	(2)
Combretaceae	<i>Terminalia catappa</i> L.	Noix de Badame	(1)
Ebenaceae	<i>Diospyros kaki</i> L.	Kaki	(2)
Flacourtiaceae	<i>Flacourtia indica</i> Merrill	Prune malgache	(2)
Mimosaceae	<i>Pithecellobium dulce</i> Benth.	Tamarin de l'Inde	(2)
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Cerise à côtes	(1)
	<i>Eugenia brasiliensis</i> Lam.	Cerise du Brésil	(2)
	<i>Dovyalis hebecarpa</i> Warb.	Cerise de Ceylan	(2)
	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	Goyavier de Chine	(2)
	<i>Psidium guajava</i> L.	Goyave	(2)
Oxalidaceae	<i>Averrhoa carambola</i> L.	Carambole	(2)
Passifloraceae	<i>Passiflora suberosa</i> L.	Grain d'encre	(2)
Polygonaceae	<i>Coccoloba uvifera</i> Jacq.	Raisin marine	(2)
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i> Lindl.	Bibasse	(2)
Rubiaceae	<i>Coffea</i> spp.	Café	(1)
Rutaceae	<i>Fortunella japonica</i> Swingle	Kumquat	(2)
	<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	Rameaux	(1)
	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	Mandarine	(1)
	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Orange	(1)
Sapotaceae	<i>Mimusops elengi</i> L.	Coing de Chine	(1)
	<i>Synsepalum dulcificum</i> Daniell	Synsepalum	(2)
Solanaceae	<i>Capsicum frutescens</i> L.	Piment	(1)
	<i>Capsicum annuum</i> L.	Poivron	(1)
	<i>Solanum auriculatum</i> Ait.	Bringelier	(2)
	<i>Solanum nigrum</i> L.	Brède morelle	(1)
	<i>Solanum lycopersicum</i> L.	Tomate	(2)
	<i>Cyphomandra betacea</i> Mart. & Sendt	Tomate arbuste	(2)
Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i> L.	Raisin	(1)

2.3. TAXONOMIE

C. capitata appartient à la famille des Tephritidae, qui compte dans le monde quelques 4000 espèces, dont 250 sont d'importance économique (Figure 4). Sa position au sein de la famille est la suivante (White & Elson-Harris, 1992) :

☞ Famille :	Tephritidae
☞ Sous-famille :	Dacinae
☞ Tribu :	Ceratitini
☞ Genre :	<i>Ceratitis</i> (McLeay)
☞ Sous-genre :	<i>Ceratitis</i> (McLeay)
☞ Espèce :	<i>capitata</i> (Wiedemann)

Ceratitis (Ceratitis) capitata (Wiedemann), a aussi été décrite sous plusieurs autres noms : *Petalophora capitata* Macepi, 1825 ; *Ceratitis citriperda* MacLeay, 1829 ; *Ceratitis hispanica* De Brême, 1842 ; *Ceratitis flexuosa* Walt, 1856 ; *Pardalaspis asparagi* Bezzi, 1924.

2.4. DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

La plupart des indication figurant dans ce paragraphe ont été tirées d'une fiche de synthèse sur la biologie de *C. capitata* (Quilici, 1997).

♦ *Adulte* (Figure 5)

Taille :	3.5 à 5 mm.
Tête :	Mâle avec des soies orbitales noires très caractéristiques.
Abdomen :	Presque triangulaire, élargi vers l'avant. Femelle avec un oviscape pointu permettant d'insérer les œufs dans le fruit.
Scutellum :	Avec des dessins caractéristiques : de couleur noire, avec une bande sinueuse jaune sur la partie antérieure.
Ailes :	Transparentes avec des bandes jaunes orangées : une longitudinale et deux transversales.

♦ *Œuf*

Les œufs, blancs et allongés, sont légèrement arqués et ont une longueur d'environ 1 mm. Ils sont pondus dans les fruits-hôtes en petits paquets à quelques millimètres sous l'épiderme. Les pontes se composent de 1 à 14 œufs (McDonald & McInnis, 1985).

♦ *Larve*

La larve de couleur blanchâtre, est un asticot typique. Elle est munie de crochets buccaux noirâtres, alors que la partie postérieure est tronquée. En fin de troisième stade larvaire, elle mesure de 7 à 9 mm.

♦ *Pupe*

La pupa, brun foncé, a une forme de tonnelet et une longueur de 4-5 mm.

2.5. CYCLE BIOLOGIQUE

Les conditions climatiques, et notamment la température jouent un rôle essentiel sur l'ensemble du cycle biologique de *C. capitata*. La gamme de températures permettant le développement est comprise entre 10 et 35°C, avec un optimum se situant autour de 25° (Messenger & Flitters, 1958; Shoukry & Hafez, 1979 ; Delrio *et al.*, 1986). Le seuil inférieur de développement se situe à 14°C. Les adultes peuvent vivre de deux à trois mois (Back & Pemberton, 1918).

La période de maturation sexuelle des adultes est assez courte, 4 à 10 jours après l'émergence (elle peut être de 3 jours à 26°C (Christenson & Foote, 1960).

La ponte commence peu après l'accouplement. La fécondité totale des femelles est d'environ 400-600 œufs en conditions naturelles favorables, et elle peut s'élever à 800 œufs en conditions de laboratoire (Back & Pemberton, 1918).

Les œufs éclosent après 2 à 5 jours. Les larves s'enfoncent dans la pulpe du fruit où le cycle larvaire, qui comprend trois stades (L1, L2 et L3), dure de 9 à 15 jours. En fin de développement, les asticots quittent le fruit par un saut pour s'enfoncer dans le sol, où s'effectuera la nymphose (ou pupaison). La durée de ce dernier stade varie de 10 à 20 jours en fonction des conditions climatiques. En conditions favorables, le cycle complet de développement dure 15 à 20 jours (respectivement à 32 et 26°C).

Le nombre de générations annuelles peut fluctuer entre 3 et 12, suivant les conditions climatiques.

2.6. DEGATS CAUSES ET METHODES DE LUTTE

♦ *Dégâts causés*

Au point de piqûre de ponte, alimentaires ou probatoires, les fruits présentent généralement une zone de décoloration visible qui évolue ensuite en une tâche de pourriture au fur et à mesure du développement des larves, et de l'infection secondaire de la blessure par différents champignons et bactéries. L'attaque se traduit souvent par un mûrissement précoce, puis la chute du fruit. Ainsi, larves de Tephritidae et pathogènes rendent le fruit impropre à la commercialisation (Quilici, 1997).

♦ *Méthodes de lutte*

Depuis l'installation du CIRAD à la Réunion, plusieurs techniques de lutte ont été expérimentées en vue de contrôler ce ravageur :

➤ Lutte autocide

En 1990, une évaluation de la faisabilité de la lutte autocide (qui consiste en des lâchers de mâles stériles) a été effectuée. Il s'avère que cette lutte est peu intéressante économiquement du fait de son coût élevé (75 millions de francs sur 7 ans) et du développement limité des cultures fruitières sur l'île (Buyckx & Liedo, 1990).

➤ Lutte chimique raisonnée

Elle permet de traiter de façon localisée lorsque les populations de ravageurs atteignent un seuil de nuisibilité. Le piégeage sexuel ou alimentaire (piège constitué d'un attractif sexuel ou alimentaire, associé à un insecticide (Drew *et al.*, 1982 ; Bateman, 1982) est un excellent indicateur du niveau des populations. Une fois le seuil atteint, on entre dans une deuxième phase avec l'application du traitement par tâches (mélange attractif-insecticide). Cette technique de lutte a été efficace pour éradiquer les invasions de *C. capitata* en Floride (Bateman, 1982).

➤ Lutte biologique

Voir paragraphe 5.

3. LE PARASITOÏDE ETUDIÉ : *DIACHASMIMORPHA TRYONI* (CAMERON) (HYMENOPTERA : BRACONIDAE)

3.1. ORIGINE ET DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE

Cette espèce est originaire de l'Est de l'Australie (Nouvelles Galles du Sud et Queensland). Elle fut originellement décrite comme un parasitoïde de la mouche du Queensland, *Bactrocera tryoni* (Froggatt). *D. tryoni* a été découvert par Brooks et Gurney (Silvestri, 1914), qui ont obtenu ce parasitoïde à partir de fruits infestés par des larves de *C. capitata*. De nombreuses tentatives d'introduction ont été effectuées dans différents pays où sévit la mouche méditerranéenne, mais sans réel succès sauf à Hawaï (Hurtrel, 2000).

3.2. TAXONOMIE

D. tryoni appartient à la famille des Braconidae, une des principales familles de parasitoïdes utilisées en lutte biologique contre les Tephritidae. Sa position taxonomique au sein de cette famille est la suivante (Roth, 1974 ; Delvare et Aberlenc, 1989) :

☞ Famille :	Braconidae
☞ Sous-famille :	Opiinae
☞ Genre :	<i>Diachasmimorpha</i>
☞ Espèce :	<i>tryoni</i> (Cameron)

Diachasmimorpha tryoni (Cameron) a été décrit sous différents noms (Wharton, 1989) : *Opius tryoni* Cameron, 1911 ; *Biosteres acidusae* Fisher, 1967 ; *Biosteres tryoni* (Cameron), Fisher, 1971 .

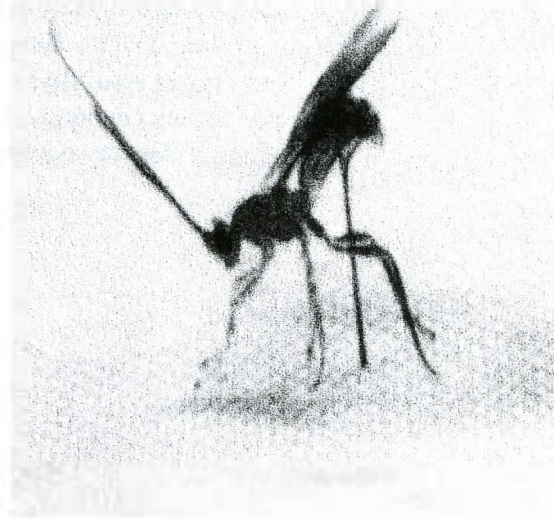


Figure 6 : Femelle *Diachasmimorpha tryoni* (Cameron).
Cliché de B. HURTREL.

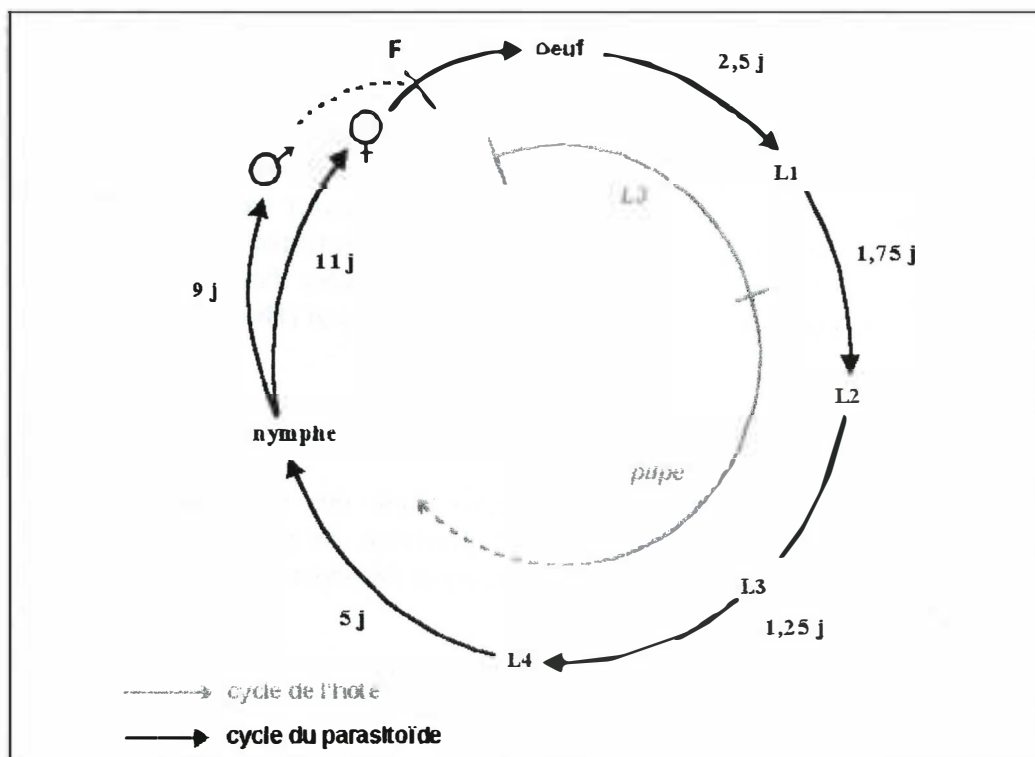


Figure 7 : Cycle biologique du parasitoïde *Diachasmimorpha tryoni*.

La durée totale du cycle chez les mâles est de 19.5 jours, chez les femelles de 21.5 jours (à $25 \pm 1^\circ\text{C}$) [Hurtrel, 2000 #1].

3.3. DESCRIPTIF MORPHOLOGIQUE (Cameron, 1911) (Figure 6)

♦ *Femelle*

- Tête** Un peu plus large que le thorax.
Quatre fois plus longue que large environ, avec une légère strie médiane longitudinale sur la face produisant un épistome semi-circulaire dans le milieu.
Les yeux sont petits et deux fois plus longs que larges.
Les antennes, composées de 45 articles, sont plus longues que le corps.
- Thorax** Le mesoscutum porte des notauli lisses et profonds, convergeant vers une fossette médiane.
La sulcature pré-scutellaire transverse est formée d'un large trou qui se divise en quatre plus petits présentant chacun une division incomplète.
Le scutellum est lisse.
Le metanotum présente une petite carène médiane très légère, accompagnée de deux petites dépressions de chaque côté.
Le propodeum présente une petite protubérance antérieure, de forme conique et dirigée vers l'avant. Sa surface médiane et sub-médiane est à peu près lisse, un peu rugueuse latéralement et postérieurement.
Le mésopleure est crénelé.
- Abdomen** Les segments abdominaux sont lisses, brillants et avec quelques poils.
L'ovipositeur est aussi long que le corps entier.
- Couleur** La tête, le thorax, le premier segment antennaire, le front et les pattes médianes sont de couleur brique ferrugineux.
L'abdomen est en grande partie brun ou brun noirâtre brillant.
Les ailes sont légèrement fumées, avec le stigma et les nervures brunes.
La troisième paire de pattes est entièrement brune (de l'apex au trochanter).

♦ *Mâle*

Similaire à la femelle, sauf l'absence d'ovipositeur en partie terminale de l'abdomen.

3.4. BIOLOGIE

D. tryoni est un endoparasitoïde larvo-pupal de la mouche méditerranéenne. Il a été aussi signalé sur les hôtes suivants : *Bactrocera dorsalis* (Hendel), *Bactrocera passiflorae* (Froggatt), *Bactrocera tryoni* (Froggatt), *Dacus xanthodes* Broun, *Procecidochares utilis* Stone (Wharton & Gilstrap, 1983).

♦ *Cycle biologique* (Figure 7)

Les femelles pondent un œuf unique par hôte, de préférence au dernier stade larvaire (L3) (Ramadan *et al.*, 1989a; Ramadan *et al.*, 1989b; Wong *et al.*, 1990). C'est un koïnobionte, *i.e.* les parasitoïdes paralysent temporairement leur hôte, qui continue à se développer plus ou moins longtemps après avoir été parasité (Wharton *et al.*, 1997).

L'œuf, fixé au tégument interne de l'hôte, éclot 1 à 2 jours après avoir été pondu. La larve L1 du parasitoïde se nourrit des tissus de l'hôte puis se mue en une larve L2 lorsque

l'hôte a effectué sa pupaison. Les stades L3 et L4 ainsi que la nymphose se déroulent dans la pupe de l'hôte (Hurtrel, 2000).

L'adulte sort de la pupe après environ une quinzaine de jours de développement pré-imaginal (à $25 \pm 1^\circ\text{C}$) (Wong & Ramadan, 1992). Il existe une protandrie, les mâles émergeant un à deux jours avant les femelles [Pemberton & Willard, 1918a; Willard, 1920]. Après l'émergence de ces dernières, l'accouplement est presque immédiat (Hagen, 1953).

♦ *Bio-écologie*

D. tryoni présente une parthénogénèse arrhénotoque, les femelles vierges pouvant pondre une descendance composée exclusivement de mâles (Doutt, 1959). La qualité de l'hôte (âge, taille, stades larvaires...), ainsi que l'âge des femelles, influent sur le sex ratio de la descendance (Wong *et al.*, 1990).

Tout comme sur *C. capitata*, la température a aussi un impact sur le développement du parasitoïde. Celui-ci se développe à des températures allant de 15 à 28°C (température minimale de 9.19°C ; température maximale de 28.7°C). La durée de développement pré imaginal diminue avec une augmentation de la température jusqu'à la température optimale (20-25°C). A une température de 29-30°C et au-delà, il n'y a plus d'émergence (Hurtrel, 2000).

La longévité des femelles adultes varie selon leur état physiologique: ainsi, une femelle accouplée et oviposante n'a pas une durée de vie supérieure à 25 jours (Pemberton & Willard, 1918a). Par contre, une femelle vierge sans hôte vivra plus longtemps et une femelle accouplée sans hôte a une durée de vie multipliée par deux par rapport à une femelle accouplée oviposante (Ramadan *et al.*, 1989a).

4. TECHNIQUES D'ELEVAGE DU PARASITOÏDE ET DE SON HÔTE :

Les méthodes usuelles utilisées au laboratoire d'entomologie du CIRAD-FLHOR de la Réunion (Montagneux, 1996) sont largement inspirées des techniques de l'INRA d'Antibes (pour les mouches des fruits) et des méthodes hawaïennes (pour le parasitoïde) (Wong & Ramadan, 1992).

4.1. CONDITIONS D'ELEVAGE DE *CERATITIS CAPITATA*

Les élevages se déroulent dans une salle climatisée (avec une température de $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ et une humidité relative de $85\% \pm 10\%$), munie d'un système d'éclairage artificiel réglé pour obtenir une photopériode de 12 : 12.

♦ *Cages d'élevage des adultes*

- ❖ De dimension de 50x50x55 cm.
- ❖ Faites de montants en bois et de revêtements en toile.
- ❖ Pouvant contenir de l'ordre de 5000 adultes.

Tableau 2 : Composition des milieux de développement des larves de *C. capitata* (Etienne non publié).

MILIEU NUTRITIF SOLIDE		MILIEU NUTRITIF LIQUIDE	
Poudre de carotte déshydratée	112 g	Sucre de canne	360 g
Levure de bière	104 g	Levure de bière	180 g
Flocons de pomme de terre	180 g	HCL (1.65‰)	48 ml
HCL (1.65‰)	40 ml	Nipagine™ (2‰)	} 1200 ml
Nipagine™ (2‰)	} 1200 ml	Benzoate de sodium (2‰)	
Benzoate de sodium (2‰)		Eau distillée	
Eau distillée			

- ❖ Exploitable environ 25 jours (pour une durée supérieure, on remarque une diminution de la fécondité des femelles).
- ❖ Contenant chacune deux abreuvoirs, ainsi que deux boîtes rectangulaires remplies de sucre de canne en poudre (apport alimentaire énergétique) et d'hydrolysate de protéines (Autolysed Brewers Yeast, ICN Biochemicals inc, Aurora, OH 44202), indispensable pour la maturation des œufs.
NB : L'hydrolysate de protéines est composé de 100g de sucre et 15g d'hydrolysate.
 Abreuvoirs et bacs alimentaires sont renouvelés au moins une fois par semaine pour assurer de bonnes conditions sanitaires.
- ❖ Chaque cage contient deux pondoires, *i.e.* un entonnoir en plastique percé de trous, recouvert de tissu humide (pour permettre la collecte des œufs).

♦ *Protocole d'élevage*

Les œufs sont récoltés quotidiennement par rinçage des pondoires avec de l'eau distillée et tamisage sur une mousseline. Ils sont ensuite rincés avec une solution anti-bactérienne et anti-fongique à 2‰ : Nipagine™ (parahydroxybenzoate de méthyle) et Benzoate™ (benzoate de sodium). Environ 4000 œufs sont étalés dans une barquette en plastique rectangulaire (20x7,5x2,5 cm) contenant le milieu nutritif solide artificiel (Tableau 2). On ajoute encore de la Nipagine™ + Benzoate™ pour rendre le milieu plus fluide et éviter le développement de champignons et bactéries.

Ces barquettes, munies de couvercle, sont placées sur un lit de sciure de bois dans de grandes boîtes en plastiques (13x34x35 cm). Au bout de 48h, temps nécessaire à l'incubation des œufs, on retire le couvercle des barquettes.

A partir du troisième jour, on nourrit quotidiennement les larves à l'aide d'un complément nutritif liquide (Tableau 2), et on saupoudre les barquettes avec du son de blé pour absorber le trop-plein de liquide. A partir du sixième jour, les larves de stade L3 quittent le milieu pour aller s'empurger dans la sciure de bois.

Les pupes sont récoltées par un tamisage de la sciure de bois. Elles sont ensuite transférées dans des boîtes d'émergence. Dès les premières émergences, les boîtes sont ouvertes dans les grandes cages d'élevage des adultes.

4.2. CONDITIONS D'ELEVAGE DE *DIACHASMIMORPHA TRYONI*

L'élevage du parasitoïde s'opère dans une salle climatisée recevant la lumière naturelle. L'hygrométrie est maintenue à $85 \pm 15\%$ et la température à $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$. Les adultes sont élevés dans des cages cubiques (30 cm de côté) à revêtement en toile de moustiquaire. Le nombre de parasitoïdes est d'environ 2000 par cage. L'apport nutritif est quotidien, par l'application sur le haut des cages d'eau miellée (2/3 d'eau, 1/3 de miel, et 3-4 pincées de pollen).

La ponte des femelles se fait sur des larves-hôtes de stade L3 (Ramadan *et al.*, 1989b). Aussi au sixième jour de développement larvaire de *C. capitata*, le contenu des barquettes est lavé à l'eau puis égoutté, jusqu'à l'obtention des larves seules. Ces dernières sont ensuite séchées avec du son de blé. On dispose alors le mélange dans un couvercle de boîte de Pétri (de diamètre égale à 5 cm) que l'on enveloppe dans une mousseline attachée par un élastique. On constitue ainsi des galettes qui contiennent en moyenne 2000 larves de mouches. Elles sont présentées aux femelles dans les cages d'adultes, à partir du cinquième jour après l'émergence du premier mâle de *D. tryoni*.

Après 24h, on retire les galettes, on élimine le son de blé sous un jet d'eau et on place les larves et pupes dans des boîtes de pupaison contenant de la sciure de bois, tamisée à l'aide d'un tamis de maille 0,1 mm. Quatre à six jours plus tard, on récolte les pupes en les faisant tremper une demi-heure dans de l'eau, puis on les rince sous un jet d'eau faible afin de ne pas les meurtrir. Elles sont ensuite séchées sous un ventilateur pendant environ 3h puis placées dans des boîtes en plastique aérées.

Après une quinzaine de jours de développement, les premiers mâles émergent, suivi un ou deux jours plus tard par les femelles. On peut noter que les pupes non parasitées laissent émerger cinq jours avant des adultes de *C. capitata* qui seront éliminés par un séjour de deux à trois jours dans un mouroir (une petite chambre noire surmontée en son sommet d'une cage aux parois translucides. Les mouches sont attirées par la lumière et restent donc piégées dans la cage supérieure. Ce système nous permet d'éliminer les *C. capitata* nouvellement émergées).

Les principales étapes des élevages de *C. capitata* et de *D. tryoni* sont résumés dans la Figure 8.

5. LUTTE BIOLOGIQUE CONTRE LES TEPHRITIDAE

La lutte biologique contre des ravageurs consiste en une utilisation de leurs antagonistes naturels en vue de réguler leur population en dessous d'un seuil de nuisibilité.

La plupart des programmes menés contre les Tephritidae consistent en une introduction de parasitoïdes exotiques (non originaires de la zones de lâchers). Ces parasitoïdes ont un effet sur la régulation des populations, mais il existe des contraintes qui limitent leur capacité à maintenir le ravageur en dessous du seuil de nuisibilité. Les lâchers inondatifs de parasitoïdes peuvent permettre de compenser les fluctuations des populations des parasitoïdes en fonction de la densité de l'hôte. De plus, les lâchers doivent tenir compte de la saison, dans des zones où pour des raisons écologiques les ennemis naturels ne peuvent s'établir ou se développer (Hurtrel, 2000).

Historiquement, la plupart des espèces utilisées pour le biocontrôle des Tephritidae appartiennent à la sous-famille des Opiinae (Hymenoptera : Braconidae) [Clausen, 1978 #59]. En effet, les Opiinae ont des parasitoïdes ayant une spécificité parasitaire très étroite : certains s'attaquent à un seul genre de Tephritidae, voire à une seule espèce. Ce caractère est un paramètre important à prendre en compte pour la réussite des programmes de lutte biologique : si on utilise une espèce avec un large spectre d'hôtes, les lâchers inondatifs auront peu de chance d'être efficaces car le parasitoïde aura tendance à se disperser à la recherche d'hôtes non cibles.

Mondialement, l'Australie fut le premier pays à mettre en place un programme de lutte biologique contre les mouches des fruits (Figure 9).

A partir de 1910, les mouches des fruits commencèrent à poser de tels problèmes dans l'état d'Hawaï que le gouvernement américain envoya des entomologistes-explorateurs (Fullaway, Bridwell, Cameron...) prospecter dans différentes régions du globe à la recherche

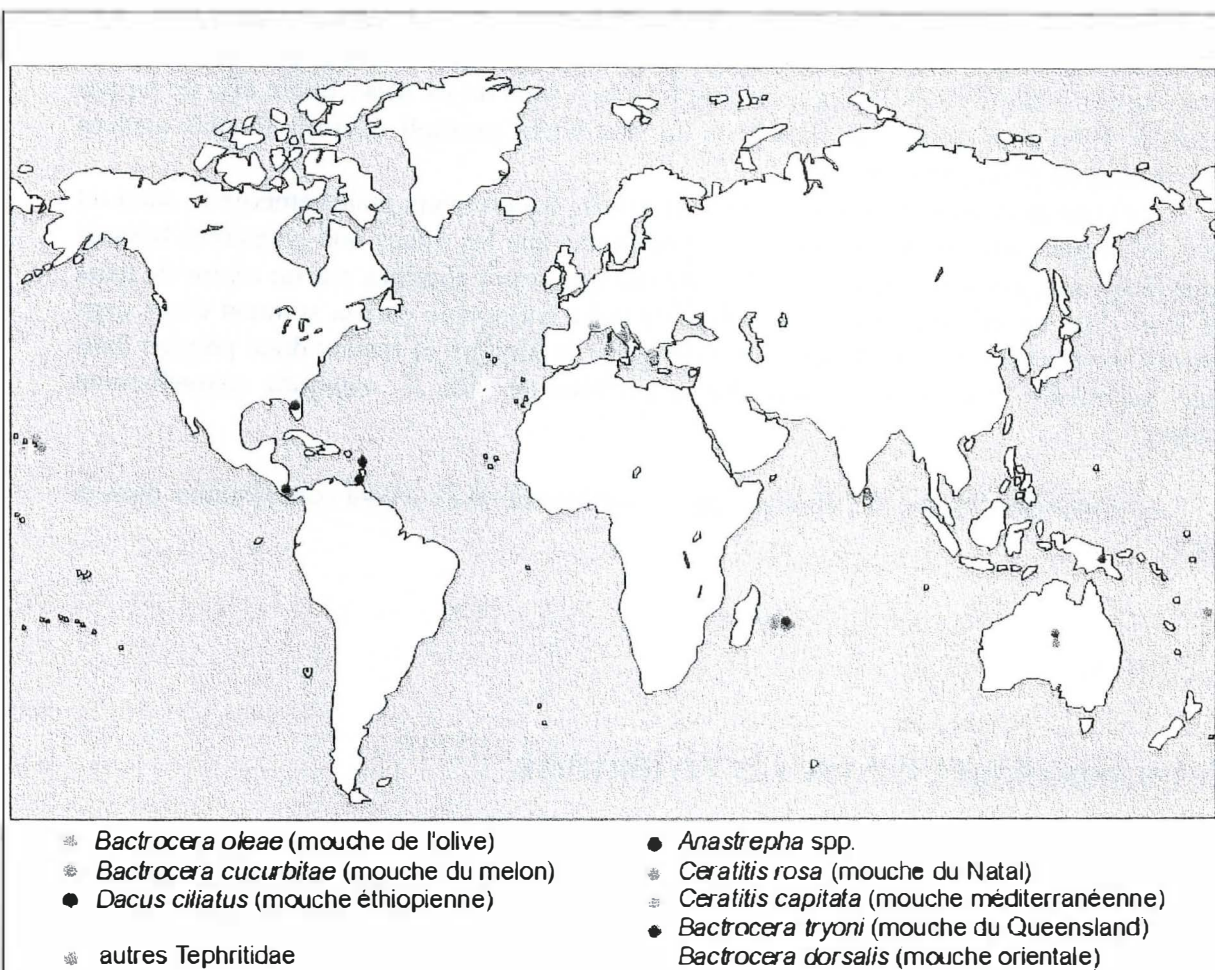


Figure 9 : Répartition des différents programmes de lutte biologique, passés et présents, contre les Tephritidae à travers le monde (Wharton, 1989).

d'ennemis naturels potentiels. C'est à eux que l'on doit les premières descriptions de la plupart des parasitoïdes connus de Tephritidae.

Le succès des programmes de lutte biologique a été variable de par le monde : à l'exception de certains programmes menés à Hawaï, la plupart ont échoués, les explorateurs n'ayant pu réaliser les lâchers de parasitoïdes en raison des difficultés rencontrées lors du transport ou de l'élevage. Sur 82 espèces de parasitoïdes élevées, 44 espèces ont pu être relâchées, et seulement 22 se sont établies. Mais aucun programme actuellement n'a permis à lui seul un contrôle complet des Tephritidae, même s'ils ont parfois permis une réduction significative des populations (Wharton, 1989).

A la Réunion, entre 1962 et 1978, les recherches conduites à l'IRAT-Réunion par J. Etienne ont permis d'approfondir les connaissances sur la bio-écologie des Tephritidae, de mettre au point l'élevage de divers parasitoïdes et d'en effectuer des lâchers massifs dans de nombreuses zones de l'île : toutes espèces confondues (on a élevé 10 espèces différentes), plus de quarante millions d'individus ont été relâchés au cours de ces opérations. Malheureusement, les parasitoïdes utilisés n'ont permis aucun contrôle notable des populations (Etienne, 1982).

Depuis 1995, deux parasitoïdes sont élevés et régulièrement lâchés par le laboratoire d'entomologie du CIRAD-FHLOR Réunion : *Psytalia fletcheri* (Silvestri) et *Diachasmimorpha tryoni* (Cameron) (Quilici *et al.*, 1996 ; Quilici et Barbet, 1997). Malgré les divers lâchers effectués en moyenne et basse altitude de *D. tryoni* pour lutter contre *C. capitata*, aucun individu n'a été retrouvé (Malvolti, 1998; Simon, 1998).

6. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Cette étude est divisée en trois principaux axes de recherche :

1. Utilisation de *D. tryoni* en lutte biologique à l'île de la Réunion :

Il faut mentionner que cette étude s'intègre dans un programme de lutte biologique classique, où l'on vise l'acclimatation de ce parasitoïde exotique. Il a déjà été lâché sur l'île de la Réunion depuis 1995, mais sans que son acclimatation ait pu être confirmée (Quilici *et al.*, 1996; Simon, 1998). Ces différents lâchers ont surtout été réalisés dans des zones de basses altitude, où la température est peut-être trop élevée pour permettre une bonne implantation de *D. tryoni*. C'est pourquoi, nous avons décidé de concentrer les lâchers dans des sites de moyenne altitude, où règnent des conditions climatiques *a priori* plus propices à l'acclimatation du parasitoïde.

2. Optimisation des techniques d'élevage de *D. tryoni* :

Ce travail en laboratoire vise à améliorer la productivité de l'élevage au laboratoire de *D. tryoni*. On s'est proposé de déterminer les effets de différents traitements sur le taux d'émergence de *C. capitata* et de *D. tryoni*. On qualifiera ainsi de méthode optimale pour le

traitement et la conservation des pupes parasitées, celle qui induit un taux d'émergence maximum avec une faible mortalité.

3. Etude du comportement de recherche de l'hôte et de son habitat chez *D. tryoni* :

Cette étude comportementale vise à déterminer les différents stimuli conditionnant la recherche de l'hôte (à savoir des larves de *C. capitata* dans les fruits hôtes) par la femelle de *D. tryoni*. Elle tend à compléter une première étude menée par le laboratoire qui malheureusement avait donné peu de résultats, du fait du faible taux de réponse du parasitoïde face à divers stimuli (Hurtrel, 2000).

En premier lieu, on déterminera les conditions optimales de vol pour *D. tryoni*, au niveau des conditions abiotiques régnant dans le tunnel de vol (vitesse du vent, intensité lumineuse) ainsi que la période optimale de la journée. Une fois ces conditions fixées, il sera possible d'étudier l'influence des stimuli olfactifs et/ou visuels sur le comportement de recherche de la femelle du parasitoïde.

2^{ère} PARTIE :

MATERIEL ET METHODES

1. UTILISATION DE *D. TRYONI* EN LUTTE BIOLOGIQUE

1.1. PROSPECTION DES SITES DE LACHERS

Les futurs lieux de lâchers sont sélectionnés en fonction de différents critères :

♦ *Altitude*

On se limitera essentiellement à des localités situées à une altitude supérieure à 500m, car les différents lâchers effectués auparavant dans des régions plus basses n'ont pas donné de résultats convaincants (Quilici et Barbet, 1997). De plus, *D. tryoni* présente un développement assez rapide à des températures basses, donc ils devrait avoir une adaptation plus aisée à des altitudes supérieures (Hurtrel, 2000).

Il faut aussi noter que *D. tryoni* présente une température maximale de développement inférieure à celle de la mouche méditerranéenne: en effet, *C. capitata* peut se développer jusqu'à des températures atteignant 35°C, et *D. tryoni* seulement jusqu'à 28°C (Hurtrel, 2000).

Enfin, il convient toutefois de retenir des lieux n'excédant pas les 850 m d'altitude, car la présence potentielle de *C. capitata* y est fort peu probable, d'après sa distribution connue dans l'île (Etienne, 1982).

♦ *Plantes-hôtes*

On se limitera à une seule espèce, le caféier. On sait toutefois que *C. capitata* s'attaque également à de nombreuses autres espèces (Etienne, 1968; Liquido *et al.*, 1991). Toutefois à la Réunion, le café semble être un des rares fruits attaqué seulement par *C. capitata* et non par d'autres Tephritidae (Etienne, 1982).

♦ *Présence du Tephritidae-hôte*

Avant de choisir un site, il importe, au préalable, de vérifier la présence de la mouche des fruits. Pour cela, on prélève un échantillon de fruits dans la parcelle retenue. Pour la parcelle de café choisie pour notre étude, une cinquantaine de fruits mûrs ont été cueillis, puis stockés au laboratoire dans une boîte aérée sur un lit de sciure de bois, dans des conditions identiques à celles de l'élevage de *C. capitata*. En fin de développement, on récupère les imagos des mouches, qui sont alors identifiés sous une loupe binoculaire.

♦ *Environnement*

Les sites ne doivent pas être situés à proximité de parcelles traitées par lutte chimique, ces traitements phytosanitaires pouvant influencer la survie des parasitoïdes lâchés.

1.2. METHODOLOGIE DES LACHERS ET EVALUATION DE L'INSTALLATION

♦ *Les lâchers*

Pour les lâchers, on utilise des cages contenant des adultes ayant émergés depuis au moins quatre jours, âge correspondant au début de la maturité sexuelle de *D. tryoni*. Il est en

Tableau 3 : Clé de détermination des parasitoïdes Opiinae (exotiques et indigènes) de l'île de La Réunion

1.	- Clypeus convexe Présence de (m-cu)(post-nervulus) sur l'aile postérieure.....	2.
	- Clypeus concave Absence de (m-cu)(post-nervulus) sur l'aile postérieure.....	3.
2.	- Pattes postérieures entièrement noires Ovipositeur aussi long que le corps.....	<i>Diachasmimorpha tryonii</i>
	- Tarses des pattes postérieures marrons Ovipositeur aussi long que les $\frac{3}{4}$ du corps.....	<i>Diachasmimorpha fullawayi</i>
3.	- Absence de carène occipitale. Tarses des pattes postérieures marron foncé. Ovipositeur aussi long que les $\frac{3}{4}$ du corps.....	<i>Psytalia insignipennis</i>
	- Présence de carène occipitale. Pattes rouge-brique. Ovipositeur aussi long que l'abdomen.....	4.
4.	- Tâches noires sur les tergites abdominaux (R) de même longueur que (2RS) Ailes hyalines.....	<i>Psytalia fletcheri</i>
	- Pas de tâches noires sur les tergites abdominaux (R) est plus de deux fois inférieure à (2RS) Ailes fumées.....	<i>Psytalia distinguenda</i>

autre préférable que les femelles soient naïves, *i.e.* elles ont été accouplées ou non, mais elles n'ont jamais pondu sur des galettes de larves (Hurtrel, 2000).

les lâchers s'effectuent sous des conditions climatiques satisfaisantes (peu ou pas de pluie, températures pas trop basses). Lors du transport des cages jusqu'au site de lâcher, on humidifie fréquemment les cages et on évite toute cause de stress pour les adultes du parasitoïde.

♦ *Evaluation de l'installation*

Avec une fréquence hebdomadaire, on récolte un échantillon de 100 fruits (ou le plus possible si les fruits sont rares) sur la parcelle de lâcher (Quilici *et al.*, 1996). Une fois les fruits cueillis, ils sont stockés dans une boîte fermée, sur un lit de sciure, pour permettre aux éventuelles larves de s'empurger. Ces boîtes sont étiquetées et datées (Simon, 1998).

On réalise ensuite un tamisage hebdomadaire de la sciure de bois afin de récolter les pupes. Pour chaque récolte, on effectue en général trois tamisages : le premier, une semaine après la récolte et les deux autres avec une semaine d'intervalle. Les larves et pupes récupérées sont conservées dans une boîte avec un fond en cellulose humidifiée jusqu'à l'émergence des adultes de mouches ou de parasitoïdes (Quilici *et al.*, 1996). En cas d'émergence de parasitoïdes, on laisse mourir les adultes dans la boîte, afin d'effectuer leur détermination des insectes sous la loupe binoculaire et à l'aide d'une clé de détermination des parasitoïdes (Tableau 3).

2. OPTIMISATION DES METHODES D'ELEVAGE DE *D. TRYONI*

2.1. PRESENTATION

♦ *Objectif*

On souhaite déterminer les effets de différents traitements des pupes sur le taux d'émergence de *C. capitata* et de *D. tryoni*. On définira ainsi la méthode optimale pour le traitement et la conservation des pupes parasitées.

♦ *Population-échantillon*

Pour chaque groupe de test, on prend 200 pupes d'un même lot, *i.e.* avec la même date de prélèvement des œufs et avec la même date de parasitisme. Pour chaque expérience comparative, on effectuera au moins trois répétitions.

♦ *Méthode standard*

La méthode standard de traitement des pupes peut être découpée en trois phases distinctes :

- ❖ **Trempage** des pupes et de la sciure de bois dans de l'eau pendant une demi-heure. Ce laps de temps permet à la sciure de se décoller des pupes et de sédimenter, ainsi que d'éliminer le risque potentiel de moucheron. La durée de trempage est fixée à une demi-heure.

- ❖ **Rinçage** sous un jet d'eau plus ou moins puissant pour éliminer les restes de sciure de bois, pendant un temps supérieur à 5 min.. Cette étape peut être à l'origine de pertes de pupes car un jet trop puissant peut décoller les muscles internes de la coque de la pupa et ainsi empêcher la sortie de l'imago à l'émergence, d'où un risque d'augmentation de la mortalité.
- ❖ **Séchage** des pupes. Les pupes sont étalées en mince couche sur un papier cellulose absorbant, devant un ventilateur créant un courant d'air (de puissance 2). Le temps de séchage est variable et la fin de celui-ci est déterminée empiriquement par le toucher. Cette durée peut varier de 1/2h à 3h, suivant les lots. On posera comme temps standard de séchage 3h. Les pupes sont ensuite stockées dans des boîtes translucides aérées dans la salle d'élevage de *D. tryoni* jusqu'à l'émergence.

♦ **Détermination des résultats**

Pour chaque expérience, on fera un comptage deux fois par jour des adultes émergés (matin et soir), et cela pour *C. capitata* comme pour *D. tryoni* (on fera une distinction entre les mâles et les femelles pour les parasitoïdes). Les adultes de *C. capitata* seront éliminés et ceux de *D. tryoni* seront conservés pour l'élevage.

2.2. METHODE DE RECUPERATION DES PUPES

2.2.1. *Comparaison entre la méthode standard et les tamisages*

Ceci permet de voir l'influence du taux d'humidité des pupes avant la conservation sur le taux d'émergence, ainsi que l'influence de l'action mécanique du tamisage.

La méthode standard sera celle énoncée précédemment.

En ce qui concerne la préparation des pupes par tamisage, la technique consiste en un tamisage à sec des pupes d'environ 2-3 minutes avec un tamis à maille fine pour séparer les pupes de la sciure de bois. Puis on teste deux alternatives : soit les pupes sont directement stockées, cela correspond à la technique du *tamisage à sec*, soit les pupes sont rincées sous un jet faible d'eau pendant 1 à 2 minutes, technique dite du *tamisage avec rinçage*. On effectuera ensuite un séchage standard de 3h.

2.2.2. *Comparaison entre la méthode standard et la flottaison*

Cette expérience va permettre de tester une autre technique aquatique moins stressante pour les pupes (on élimine le risque de stress pouvant être engendré par le rinçage). On compare donc la méthode standard avec la technique dite de *flottaison* : Celle-ci diffère de la méthode standard par l'absence de la phase de rinçage. En effet, lors de la phase de trempage des pupes, on pratique un brassage manuel doux qui va accélérer l'immersion de la sciure, et on va donc pouvoir récupérer les pupes flottant à la surface, sans la nécessité du rinçage.

2.3. TEMPS DE SECHAGE DES PUPES

Actuellement, on pratique au laboratoire des temps de séchage assez longs, de l'ordre de trois heures. Réduire ce temps peut être intéressant, si toutefois cela n'engendre pas de diminution de la production de parasitoïdes. Pour cela, on va tester six temps de séchage

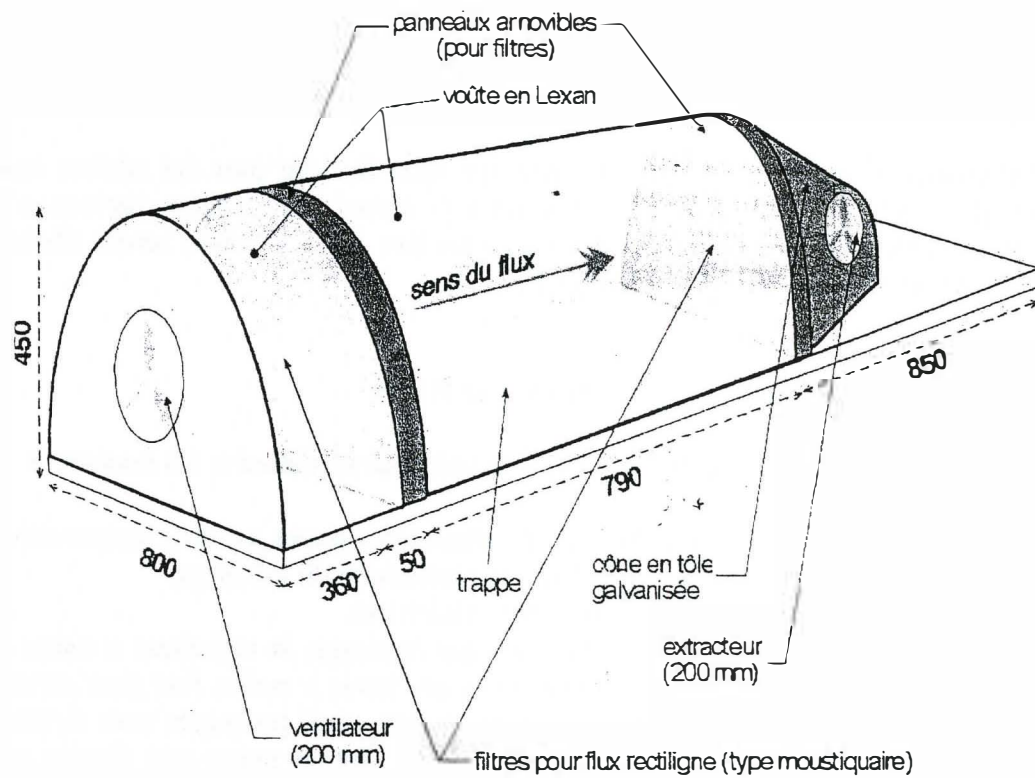


Figure 10 : Représentation schématique du tunnel de vol utilisé pour les études comportementales de *D. tryoni*.

différents : 1/2h ; 1h ; 1h30 ; 2h ; 2h30, 3h (standard). Les conditions de séchage sont les mêmes que pour la méthode standard.

3. ETUDE DU COMPORTEMENT DE RECHERCHE DE L'HÔTE CHEZ *D. TRYONI*

3.1. OBJECTIFS

Cette étude comportementale porte sur l'éthologie de la femelle de *D. tryoni* dans la recherche de son hôte (à savoir des larves de *C. capitata* dans les fruits). En premier lieu, on déterminera les conditions optimales pour *D. tryoni*, en ce qui concerne les conditions abiotiques régnant dans le tunnel de vol : vitesse du vent, intensité lumineuse et période de la journée. Une fois ces conditions fixées, on travaillera sur l'impact des stimuli olfactifs et/ou visuels sur le comportement de recherche du parasite.

3.2. MATERIELS

♦ *D. tryoni* :

On utilise des femelles choisies aléatoirement dans les cages d'élevage des adultes. Celles-ci peuvent être naïves ou accouplées, âgées de 2 à 8 jours (Hurtrel, 2000).

♦ *Tunnel de vol*

☞ Objectifs :

Il permet l'étude du comportement de *D. tryoni* dans la recherche et la détection de l'hôte. En effet, c'est une structure semblable à un olfactomètre (Dauphin, 1998).

Il permet de déterminer les différents stimuli qui induisent un envol et un atterrissage sur la source du stimulus. Ces stimuli seront olfactifs, visuels ou encore une combinaison des deux.

☞ Description du tunnel de vol :

- *Description technique* : (Figure 10)

Lors des expériences comportementales, on utilise comme tunnel de vol une enceinte hémicylindrique en Altuglass™, traversée par un flux d'air à vitesse constante.

La constance de la vitesse du flux est obtenue grâce à un ventilateur en amont et à un extracteur en aval (HCM-225M®, Soler& Palau, Barcelona), chacun couplé à un variateur électronique. L'extracteur est prolongé d'un flexible en aluminium permettant de rejeter l'air odorant jusqu'à l'extérieur du bâtiment (Hurtrel, 2000).

La vitesse du flux peut être modulable de 0 à 40 cm/sec grâce au variateur. Elle est mesurée à l'aide d'un anémomètre à sonde thermique télescopique de modèle 8330-M VELOCHECK®, TSI Inc. , Saint Paul, MN (Brévault, 1999).

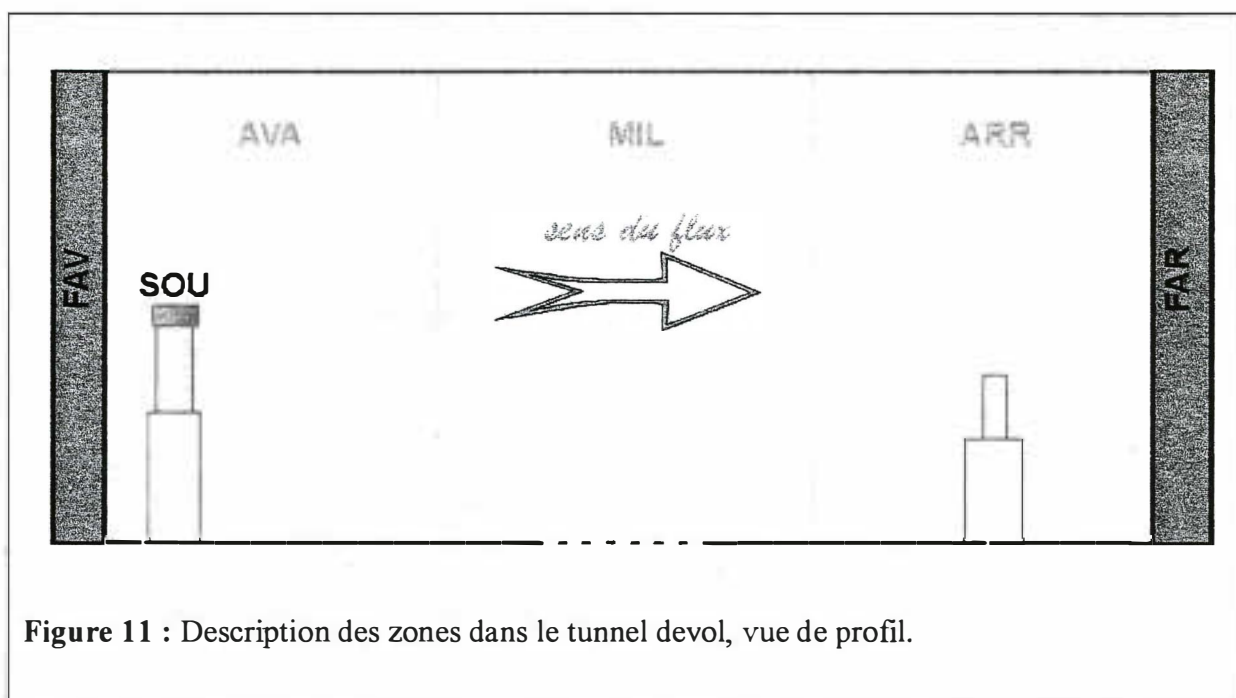


Tableau 4 : Liste des codes associés aux positions dans le tunnel de vol.

Code Observer®	Touche Psion®	Position dans le tunnel
FAV	(a)	Filtre avant
AVA	(b)	Tiers avant
MIL	(c)	Tiers milieu
ARR	(d)	Tiers arrière
FAR	(e)	Filtre arrière
SOU	(f)	source

Tableau 5 : Liste des codes associés aux comportements des femelles dans le tunnel de vol.

Code Observer®	Touche Psion®	Position dans le tunnel
INI	(i)	Antennes et palpes labiales exposées au flux
VOL	(v)	Vol
WALK	(w)	Marche
STOP	(s)	Arrêt
HOV	(h)	Hovering = vol à moins de 5 cm de la source
ATT	(l)	Atterrissage sur la source

En amont et en aval du flux, on a placé deux filtres en moustiquaire plastique afin de rendre le flux le plus homogène possible (Hurtrel, 2000) : le premier en amont casse les turbulences du flux et l'homogénéise, alors que le second placé en aval permet de maintenir le flux rectiligne en sortie de tunnel (Brévault, 1999). Ce flux d'air homogène et laminaire est nécessaire pour pouvoir travailler dans des conditions optimales avec les insectes (Dauphin, 1998).

Des bandes adhésives marrons sont fixées au sol pour donner à l'observateur des repères visuels pendant sa progression dans le flux.

- *Description des zones dans le tunnel* : (Hurtrel, 2000) (Figure 11)

Le tunnel est découpé en 3 parties équivalentes, pour permettre de noter la position de l'insecte dans l'espace :

↳ **Le tiers avant**, incluant la source de stimuli olfacto-visuels.

↳ **Le tiers milieu**

↳ **Le tiers arrière**, comprenant le support où est déposée la femelle pour l'expérience.

3.3. METHODES

On réalise les expériences sur des lots de 10 femelles de *D. tryoni* étudiées individuellement, avec 3 répétitions. Le temps d'observation de chaque individu sera de 10 minutes.

Les comportements sont saisis en temps réel à l'aide d'un Psion® Organiser II, Model LZ64 (GB), couplé à un logiciel d'acquisition comportemental Observer 3.0® (Noldus Information Technology Inc. , NL) (Hurtrel, 2000).

Pour l'acquisition des données comportementales, on a défini deux catégories de comportements :

↳ **Position** : L'insecte se positionne dans l'espace en fonction des zones dans le tunnel. Ces positions sont codées en 4 lettres maximum dans l'Observer® et associées à une touche du Psion® (Hurtrel, 2000) (Tableau 4).

↳ **Comportement** : l'attitude de l'insecte est cataloguée en fonction de 9 comportements de référence, chacun codés par 4 lettres maximum dans l'Observer®, et associée à une touche du Psion® (Hurtrel, 2000) (Tableau 5).

Les données ainsi récoltées sur le Psion® sont d'abord gérées par Observer® puis exportées vers un micro-ordinateur où elles seront traitées par Excel® et Statistica 5.1®, Statsoft 1996.

3.4. DEROULEMENT DES ESSAIS

3.4.1. Etude méthodologique en tunnel de vol

Les expériences sont réalisées en situation de non-choix. La combinaison de stimuli olfactifs proposée, supposée attractive, est constituée de fruits-hôtes mûrs, infestés artificiellement par des larves de *C. capitata* pendant une durée de 3 heures, et proposés aux femelles du parasitoïde une semaine après l'infestation. Comme fruit-hôte source, nous avons choisi le badamier, car il est connu comme attractif pour les femelles de *C. capitata*, et aussi du fait que sa période de maturation correspondait à celle de notre étude.

♦ *Vitesse du vent*

On testera aussi la technique de flux interrompu communément utilisé à Hawaï (Messing *et al.*, 1997). En effet, ces auteurs ont montré que, lorsque le vent est appliqué de façon intermittente, les femelles de *D. longicaudata* présentent une activité de vol plus importante à la fois pendant les périodes ventilées et pendant les période de calme.

Ainsi donc, dans ce cas, on travaille dans le tunnel en alternant des période ventilées à environ $17 \text{ cm/s} \pm 2 \text{ cm/s}$, et des périodes de calme où le vent est à $2 \text{ cm/s} \pm 2 \text{ cm/s}$.

♦ *Intensité lumineuse*

N'ayant pas disposé d'assez de temps pour effectuer une étude de l'influence de l'intensité lumineuse, nous avons effectué toutes les mesures sous une lumière de 250 lux, la valeur maximale que nous pouvions atteindre dans le tunnel de vol. Ce choix a été fait car en général, en élevage, les femelles pondent plus pendant le matin et l'après-midi. Mais il n'en reste pas moins intéressant de faire un jour l'étude de ce paramètre.

♦ *Période de la journée*

On compare la réponse des femelles à 2 périodes de la journée : le matin, entre 8h et 10h ; et l'après-midi, entre 13h et 15h. La source a été choisie afin d'avoir le meilleur taux de réponse possible ; le choix s'est porté sur des fruits de badamier infestés (collectés mûrs, soumis pendant 3 heures à une cohorte de *C. capitata*, puis mis en essai après 8-9 jours), placés dans un tube rouge, couleur attractive pour *D. tryoni* (Hurtrel, 2000).

3.4.2. Comparaison de différents stimuli visuels : la couleur de la source

Une combinaison de stimuli olfactifs et visuels est proposée aux femelles. On propose aux femelles de *D. tryoni* des sources ayant le même type de stimulus olfactif (du badamier collecté mûr, soumis pendant 3 heures à une cohorte de *C. capitata*, puis mis en essai après 8-9 jours) et qui ne varient que par un caractère : la couleur. On teste ainsi l'influence de la couleur de la source.

Les différentes variantes de couleur proposées aux femelles correspondent plus ou moins à la gamme des couleurs de fruits mûrs : rouge-grenat, jaune, vert. On teste aussi un témoin qui correspond aux seuls stimuli olfactifs (on y associe la couleur blanche, n'ayant aucun contraste dans le tunnel, blanc lui-même).

3.4.3. Stimuli olfactifs seuls vs stimuli visuels et olfactifs

On utilisera la couleur rouge susceptible de se révéler attractive pour les femelles de parasitoïdes. La réponse des femelles de *D. tryoni* est comparée, en situation de non-choix vis-à-vis de :

- ↳ témoin (absence de stimuli visuels et olfactifs).
- ↳ larves dans fruit-hôte mûr, 9 jours après infestation (stimuli olfactifs seuls).
- ↳ idem, dans un tube rouge (stimuli visuels + olfactifs).

3^{ère} PARTIE :

RESULTATS ET DISCUSSION

Tableau 7 : Tableau récapitulatif des résultats des tamisages, pour les échantillons collectés au Musée de Villèle. (Cc= *Ceratitis capitata* ; Dt= *Diachasmimorpha tryoni* ; Pi= *Psytalia insignipennis*).

Pourcentage d'émergence= (Cc+Dt+Pi) / (nombre de pupes).

Pourcentage de parasitisme : total= (Dt+Pi) / (total d'adultes émergés) ; Dt= Dt / (total d'adultes émergés) ; Pi= Pi / (total d'adultes émergés).

Numéro de lot	Date	Nombre de fruits	Nombre de pupes	Nb d'adultes émergés			Total d'adultes émergés	Pourcentage d'émergence	Pourcentage de parasitisme		
				Cc	Dt	Pi			Total	Dt	Pi
L0*	27/4	60	42	29	0	1 ¹	30	71.4	3.3	0.0	3.3
L7**	4/5	95	113	57	12 ¹	0	69	61.1	17.4	17.4	0.0
L21	18/5	250	163	121	2	1	124	76.1	2.4	1.6	0.8
L28	25/5	250	214	185	0	0	185	86.4	0.0	0.0	0.0
L54	20/6	100	50	38	0	2 ¹	40	80.0	5.0	0.0	5.0
L63	29/6	100	40	28	1 ¹	3 ¹	32	80.0	12.5	3.1	9.4
total			622	458	15	7	480				

* : Echantillon prélevé juste avant le premier lâcher de *D. tryoni*.

** : Echantillon collecté juste avant le deuxième lâcher de *D. tryoni*.

¹ : Lot de parasitoïdes contenant des femelles.

1. RESULTATS DES LACHERS DE *D. TRYONI* EN MILIEU NATUREL

1.1. LIEU REPERTORIE

Le seul site approprié se situe à Saint Gilles-Les-Hauts, dans le parc du Musée de Villèle (380 m). En effet, il existe dans le parc du musée différentes parcelles de caféiers. Deux nous intéressent, une avec une vingtaine de caféiers, et une seconde avec seulement 10 arbres mais beaucoup plus chargés en fruits que la précédente. Ces deux parcelles sont respectivement séparées l'une de l'autre par une dizaine de mètres (terrain à découvert).

Un deuxième site aurait été susceptible de convenir, à La Fontaine, Saint Leu, à une altitude de 497m. Ce terrain était composé d'environ 80 caféiers, mais comme de nombreux endroits dans les Hauts de l'Ouest, un manque d'irrigation et une sécheresse latente de ces lieux depuis 3 ou 4 ans ont desséché tous les fruits et rendent ainsi inutilisables ces parcelles de caféiers. La présence de fruits au musée Villèle est surtout due à une irrigation régulière de son parc.

1.2. ASPECTS QUALITATIFS ET QUANTITATIFS DES LACHERS

Les différentes conditions des lâchers sont résumées dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Caractéristiques abiotiques et biotiques des lâchers de *D. tryoni*.

		Lâcher 1	Lâcher 2
Date		27/4/00	04/5/00
Lieu		Parc du Musée Villèle	Parc du Musée Villèle
Espèces hôtes présentes		Café à maturité	Café à maturité
Conditions climatiques	Température	24°C	23°C
	Précipitations	Fine bruine	Temps sec
Effectif des <i>D. tryoni</i>	mâles	1200	1500
	Femelles	800	1000
Age des individus		4 jours	4 jours

1.3. RESULTATS ET DISCUSSION

Le lot L0 du Tableau 7 correspond à un relevé effectué avant les lâchers, qui nous permet de connaître les différentes espèces de mouches des fruits qui utilisent les fruits du café comme support de ponte. Les résultats indiquent clairement que seule *C. capitata* colonise ce fruit au musée Villèle.

Le Tableau 7 nous montre que l'on retrouve des adultes de *D. tryoni* après les lâchers. En totalité, sur 5 récoltes de fruits (on ne tient pas compte de L0 qui a été récolté avant les lâchers), on retrouve une quinzaine d'adultes de *D. tryoni*. Il est vrai qu'en soi c'est un faible effectif de parasitoïdes, mais si on le compare aux résultats des études antérieures (Quilici et Barbet, 1997), il apparaît non négligeable. En effet, le nombre de parasitoïdes retrouvés une semaine après les lâchers lors des études précédentes était de l'ordre d'un seul individu par

lieu de lâcher. De plus, ce faible nombre résulte aussi du fait que nous avons effectué des lâchers inoculatifs (de moins de 5000 individus). Nous travaillons dans l'optique d'une lutte biologique par acclimatation et non pas par lâchers inondatifs.

On retrouve en général les parasitoïdes dans les deux premiers tamisages. Ils sont toujours absents lors du troisième. Ceci s'explique facilement car les parasitoïdes pondent en général dans des larves de stade L3, et ensuite, il y a une période d'environ 15 jours avant l'émergence des adultes (Figure 11). Donc, au maximum les parasitoïdes peuvent émerger lors du deuxième tamisage (soit 15 jours après la récolte des fruits).

Si on se base sur la durée moyenne du cycle de *D. tryoni* à 25°C (Wong, 1992), la femelle de *D. tryoni* présente à L63 correspond à une troisième génération (F3) des parasitoïdes lâchés. C'est un résultat intéressant car il montre une survie possible de *D. tryoni* dans le site sélectionné. Toutefois, il est encore trop tôt pour savoir si l'espèce s'est implantée ou non. Il faut plutôt raisonner sur une période de 5 à 10 ans, en étudiant la dynamique de la population du parasitoïde, si celle-ci arrive à survivre plus d'une année. Si l'espèce est présente un an après les premiers lâchers, on pourra parler d'un début d'installation. Pour noter des résultats nets de l'implantation d'une espèce telle que *D. tryoni* (diminution de la population hôte par exemple), il faut attendre environ deux ans (Etienne, 1968; 1972; 1973; 1982). La présence de cette génération F3 donne de grands espoirs quant aux possibilités d'installation de *D. tryoni* dans les Hauts de l'île.

Le taux de parasitisme de *D. tryoni* calculé (Tableau 7) ne tient pas compte du taux de mortalité. En effet, lors de la dissection des pupes n'ayant pas émergé, on n'a pu retrouver que des résidus solides ou liquides, ce qui ne nous ont pas permis de déterminer si la pupa renfermait un hôte ou un parasitoïde. Ces taux sont intéressants car on retrouve des valeurs allant jusqu'à 17%, ce qui est assez élevé, sachant qu'en captivité (où les conditions sont optimales), leur taux de parasitisme atteint au maximum les 25% [Gourdon, 1998 #25]. Mais il est trop tôt pour avoir une idée du taux de parasitisme futur, en cas d'acclimatation ; nous n'avons ici que des données ponctuelles.

Parmi les données récoltées dans le Tableau 7, on peut noter la présence de femelles de *D. tryoni*. En effet, c'est par elles que passe la pérennité de l'espèce et la colonisation d'un nouveau milieu. En effet, ce sont elles qui pondent les œufs, même sans la présence de mâles pour les féconder, du fait de leur arrhénotoquie. Mais si les femelles ne sont pas accouplées, elles ne produisent que des mâles. Ainsi donc, la présence des femelles montre que le sex ratio de la population est suffisant pour permettre aux individus de s'accoupler.

De plus, d'après Wong *et al.* (1990), pour que les parasitoïdes produisent des individus femelles, il faut de bonnes conditions, à savoir une densité d'hôtes pas trop élevée, des larves L3 assez âgées, ainsi que d'une taille assez importante. On peut donc penser que les larves présentes dans les grains de café correspondent plus ou moins à des hôtes favorables pour les femelles de *D. tryoni*. Il est vrai que toutes les plantes-hôtes de *C. capitata* ne sont pas forcées d'attirer *D. tryoni* et de lui convenir. Mais dans le cas présent du café, ces résultats confirment que dans la nature, *D. tryoni* est susceptible de pondre dans les fruits de café infestés par *C. capitata* (Bess, 1953; Bess *et al.*, 1961). Malvolti (1998) et Simon (1998) ont souvent noté la présence de parasitoïdes dans de petits fruits : *Psytalia insignipennis* et *P. distinguenda* ont été retrouvés dans des fruits de café et de *Murraya paniculata*. Il est vrai que pour un parasitoïde, il est biologiquement plus facile de trouver son hôte dans un petit fruit que dans un gros.

Les récoltes de fruits ont dû être interrompues après le lot L63, car nous étions à la fin de la période de fructification du café (du moins pour le site d'étude). Mais une nouvelle floraison était en train de se mettre en place. Durant cette période de "creux" en ce qui concerne les fruits de café, il existe dans le parc du musée ainsi que dans les jardins alentours des particuliers un réservoir important d'hôtes potentiels pour *D. tryoni*. On note la présence de mangues, bibasses, Murraya, ainsi que de badamiers. Pour vérifier la présence des *C. capitata* dans le parc, nous avons soumis des bibasses à notre protocole de suivi de population : sur 3 bibasses récoltées, nous avons obtenu 3 pupes qui nous ont donné deux *C. capitata* et une *C. rosa*. Ainsi donc les parasitoïdes pourront encore trouver des mouches méditerranéennes et donc ne pas périr à la fin de la saison du café. Il reste à savoir si les femelles de *D. tryoni* sont susceptibles de pondre dans ces autres fruits.

Un fait important ressort de notre étude : on retrouve des adultes de *Psytalia insignipennis* dans nos différents tamisages. *P. insignipennis* est une espèce de parasitoïde très peu étudiée. Elle est mentionnée par Orian & Moutia (1960), mais ces auteurs l'avaient vraisemblablement confondue avec *P. distinguenda* (espèce très proche taxonomiquement). Récemment, la classification a été remise à jour et on a décrit cette espèce comme un parasitoïde du genre *Ceratitis* (McLeay), d'origine peut être indigène, mais dont la présence dans de nombreux fruits non indigènes semble indiquer qu'elle a peut-être été introduite accidentellement depuis Madagascar (Wharton *et al.*, 1999).

La présence de cette espèce confirme le fait qu'elle parasite les larves de *C. capitata* (Malvolti, 1998; Simon, 1998), tout comme *D. tryoni*. On la retrouve notamment avant les premiers lâchers, avec un faible taux de parasitisme. Cette information soulève plusieurs questions :

↳ Pourquoi ne pas utiliser *P. insignipennis* comme un outil de lutte biologique contre la mouche méditerranéenne ?

En effet, on pourrait envisager de l'utiliser comme un antagoniste naturel indigène de *C. capitata*, et faire des lâchers massifs ponctuels quand la population des mouches dépasse le seuil de nuisibilité. Ceci inclurait la mise en place d'un réseau de surveillance (réseau de pièges) dans les zones à protéger comme les champs.

Mais ceci impliquerait des lâchers inondatifs comme il en existe à Hawaï, au Brésil et Guatemala à l'aide notamment de *D. tryoni* (Wong *et al.*, 1991; Wong & Ramadan, 1992). Or le coût de l'élevage d'une telle population de parasitoïdes est assez important et on ne peut de plus prévoir leur impact sur les populations de mouches des fruits, sans compter que les productions fruitières et maraîchères risquent d'être malgré tout endommagées par les pontes des mouches.

C'est pourquoi une telle opération ne semble pas économiquement rentable. Il vaut mieux utiliser des parasitoïdes pour réguler les populations de mouches dans les zones réservoirs naturelles qui sont composées par les espèces hôtes sauvages.

↳ A-t-on déjà étudié la biologie de *P. insignipennis* avant d'essayer d'introduire et d'acclimater à la Réunion un parasitoïde exotique tel que *D. tryoni* ?

En général, les parasitoïdes exotiques sont utilisés quand les pièges et les traitements par tâche ne peuvent être utilisés, c'est à dire de préférence en zone sauvage pour limiter les populations hôtes susceptibles de réinfester les parcelles cultivées. Le projet d'acclimatation de *D. tryoni* a été initialement mis en place avant qu'une enquête exhaustive ne soit menée sur les parasitoïdes indigènes des mouches des fruits (Quilici *et al.*, 1996; Etienne, 1968). C'est seulement récemment que des études ont été faites pour

répertorier les différentes espèces de parasitoïdes présentes à la Réunion (Malvolti, 1998; Simon, 1998). En outre, *P. insignipennis* n'a jamais été élevé au laboratoire.

Il serait intéressant de connaître les interrelations possibles entre les deux parasitoïdes, *P. insignipennis* et *D. tryoni*. Est-ce que leur action couplée augmenterait le pourcentage de parasitisme sur *C. capitata* ? Ou, au contraire, est-ce que des phénomènes de compétition apparaîtraient entre les deux ? En effet, ils occupent la même niche écologique et, à Hawaï on a déjà remarqué des interactions semblables entre différents parasitoïdes (Wong *et al.*, 1992; Vargas & Ramadan, 1998).

Seule une étude plus poussée permettrait de répondre à toutes ces questions.

2. RESULTATS DE L'OPTIMISATION DE L'ELEVAGE DES PARASITOÏDES

Notre protocole d'expérience sur l'optimisation des différents traitements des pupes nous a permis de vérifier la chronologie d'émergence des pupes de *C. capitata*, parasitées ou non par *D. tryoni* (Figure 12).

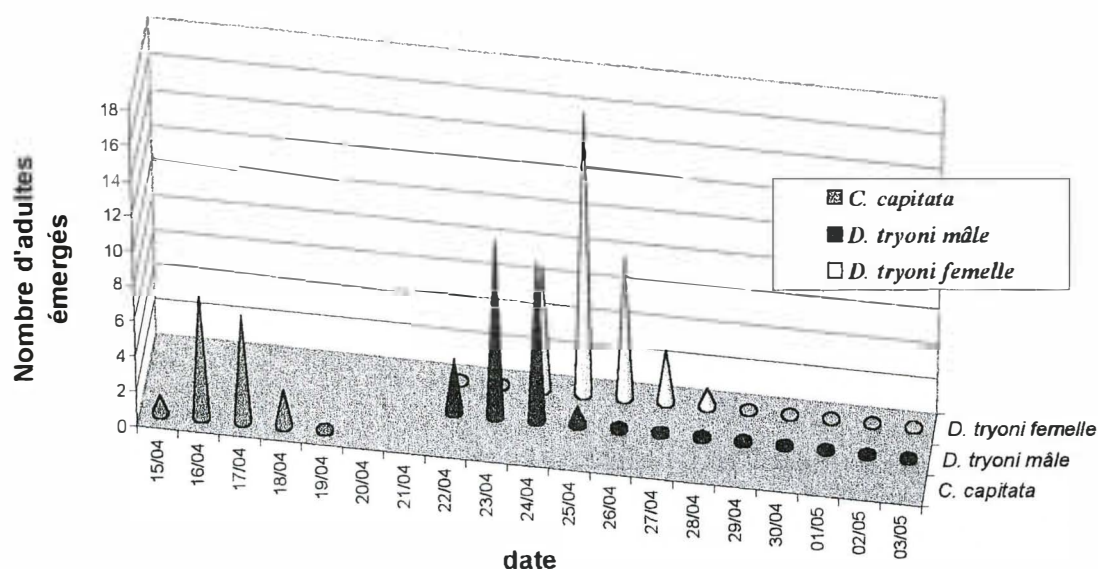


Figure 12 : Evolution dans le temps des émergences des pupes de *C. capitata*, parasitées ou non.

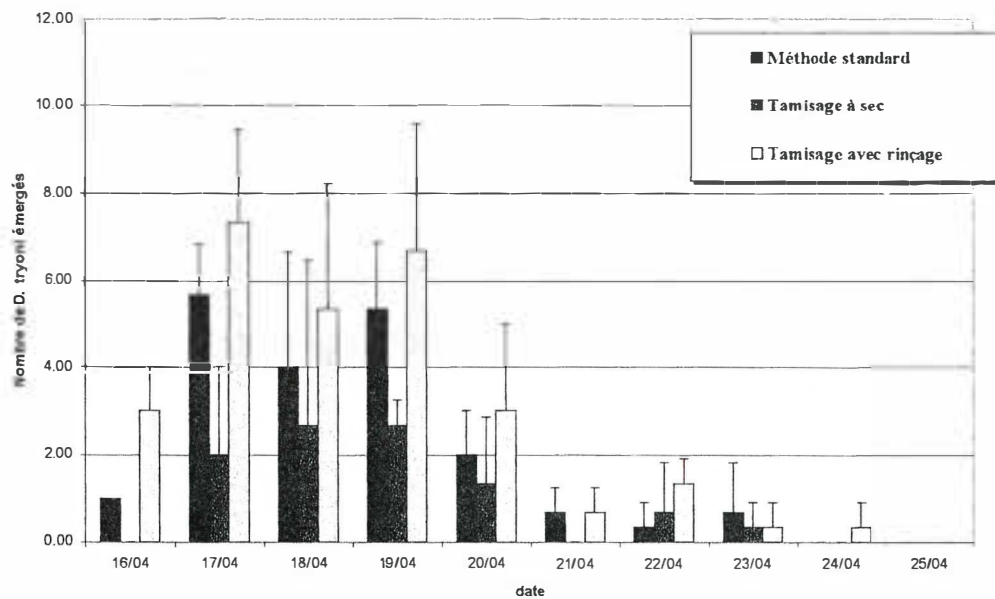


Figure 13 : Influence de deux tamisages différents pour la récupération de pupes sur l'émergence des parasitoïdes *D. tryoni*.

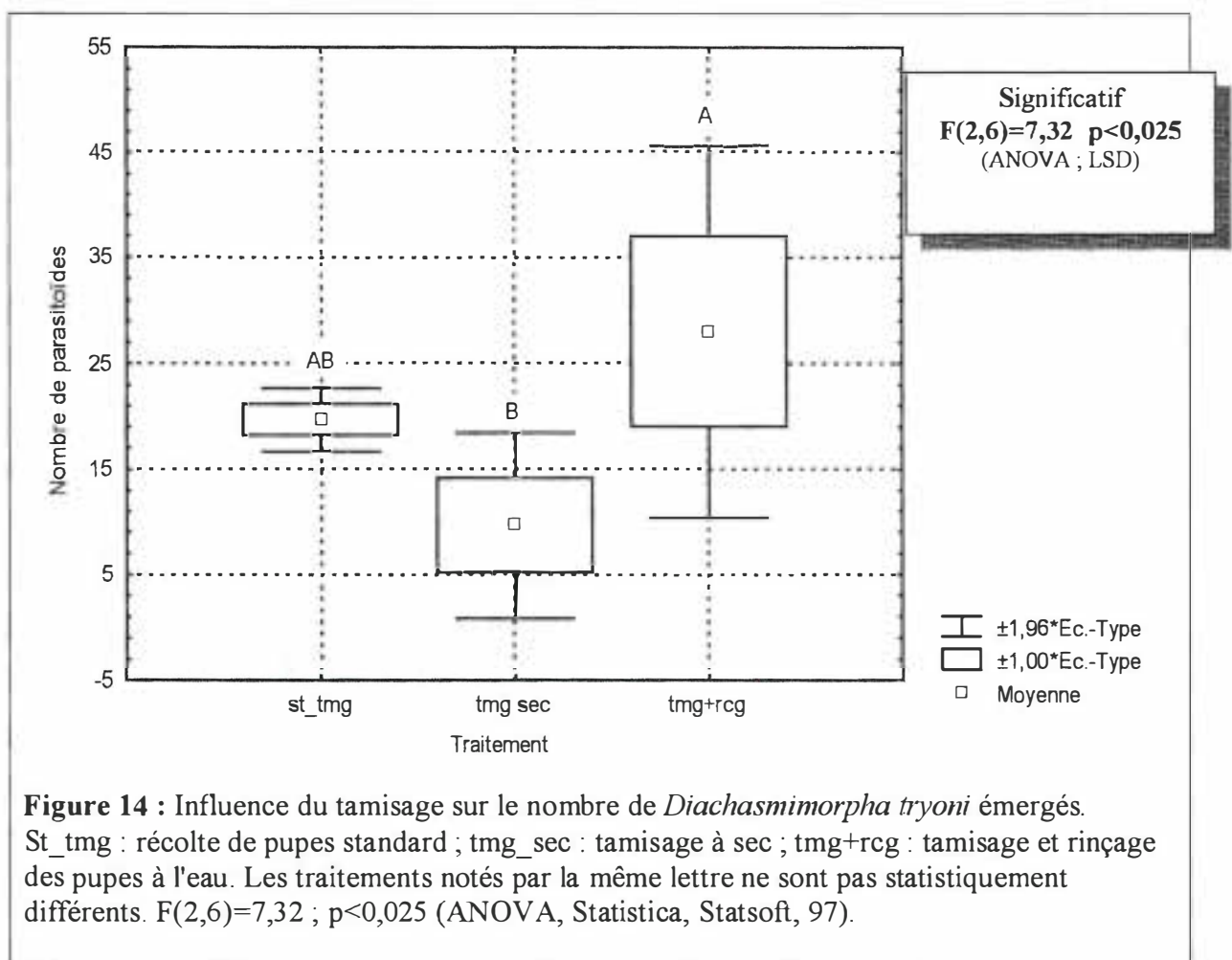


Figure 14 : Influence du tamisage sur le nombre de *Diachasmimorpha tryoni* émergés. St_tmg : récolte de pupes standard ; tmg_sec : tamisage à sec ; tmg+rcg : tamisage et rinçage des pupes à l'eau. Les traitements notés par la même lettre ne sont pas statistiquement différents. $F(2,6)=7,32$; $p<0,025$ (ANOVA, Statistica, Statsoft, 97).

Dans les conditions abiotiques de la salle d'élevage de *D. tryoni* (température : 25°C ; taux d'humidité : 60 à 80%), on constate une différence entre l'émergence de *C. capitata* et celle de *D. tryoni* : les mouches émergent en général deux à trois jours avant les parasitoïdes. L'émergence des *C. capitata* se concentre sur trois à quatre jours.

En ce qui concerne les parasitoïdes, la Figure 12 confirme l'existence d'une protandrie chez *D. tryoni* (Pemberton & Willard, 1918; Willard, 1920) : les mâles émergent environ deux jours avant les femelles, et cette émergence se concentre sur trois ou quatre jours, tout comme pour les femelles.

2.1 RESULTATS DES TECHNIQUES DE TAMISAGE

Nous avons donc travaillé lors de l'étape de récupération de pupes, sur la comparaison de la méthode standard et de deux tamisages différents, un à sec, et le second subissant une humidification relative (*i.e.* un rinçage de quelques minutes sous un jet d'eau faible).

La Figure 13 nous montre l'allure générale des émergences moyennes des parasitoïdes (calculées à partir des trois répétitions effectuées) pour les deux traitements. La technique de *tamissage et rinçage* semble donner de meilleurs résultats que le *tamissage à sec*. Mais les écarts-types sont tels que nous ne pouvons tirer aucune conclusion nette.

Par contre, l'analyse statistique présentée sur la Figure 14 nous permet de juger de l'action des deux traitements. Les deux traitements, *tamissage à sec* et *tamissage avec rinçage* ne sont pas statistiquement différents de la méthode standard utilisée actuellement au laboratoire (ANOVA, LSD (test *t*), Statistica, Statsoft-France 1997). Ceci signifie que le tamissage n'a pas d'influence sur le taux d'émergence de *D. tryoni*.

Au contraire, lorsqu'on compare seulement les deux techniques de tamisages sans tenir compte de la méthode standard, il en ressort que les deux tamisages sont statistiquement différents. Or la seule différence entre ces deux méthodes est le passage des pupes sous un doux jet d'eau dans le cas du *tamissage avec rinçage*. On peut donc en conclure que l'humidification des pupes avant la période de stockage est une étape importante et nécessaire dans le traitement des pupes.

Enfin, si on regarde les valeurs quantitatives des différents traitements, la moyenne générale du *tamissage avec rinçage* est la plus élevée (29 *D. tryoni* adultes émergés), par rapport à la méthode standard (19) et au tamissage à sec (12).

Ainsi, bien qu'il ne soit pas statistiquement différent de la méthode standard, le *tamissage avec rinçage* paraît être la technique la plus intéressante du point de vue du rendement, mais aussi du point de vue de la rapidité d'exécution car l'attente d'une demi-heure lors du trempage des pupes est évitée. Il est aussi à noter que le *tamissage à sec* est fortement déconseillé, du fait du faible nombre de parasitoïdes adultes émergés obtenus avec ce traitement.

2.2. INFLUENCE DU RINÇAGE LORS DE LA RECUPERATION DES PUPES

Dans cette expérience, nous avons comparé la méthode standard et la technique de flottaison, où le rinçage final est éliminé. Les pupes sont alors récupérées par flottaison (la densité de celles-ci étant supérieures aux copeaux de sciures de bois).

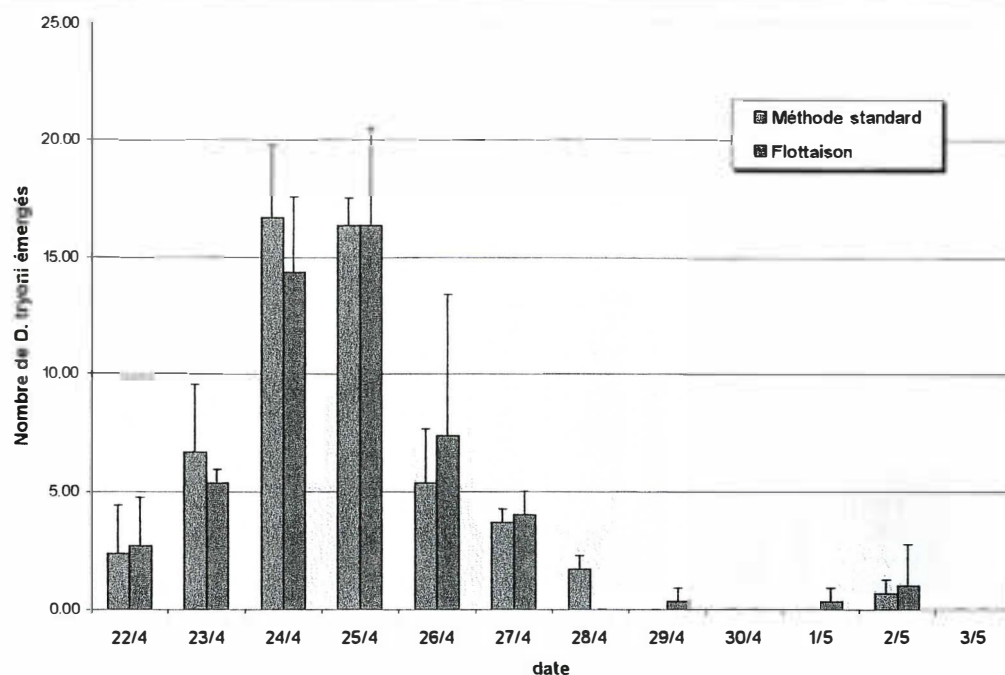


Figure 15 : Influence du rinçage lors de la récupération des pupes sur l'émergence des adultes de *D. tryoni*.
Méthode standard : avec rinçage ; Flottaison : sans rinçage.

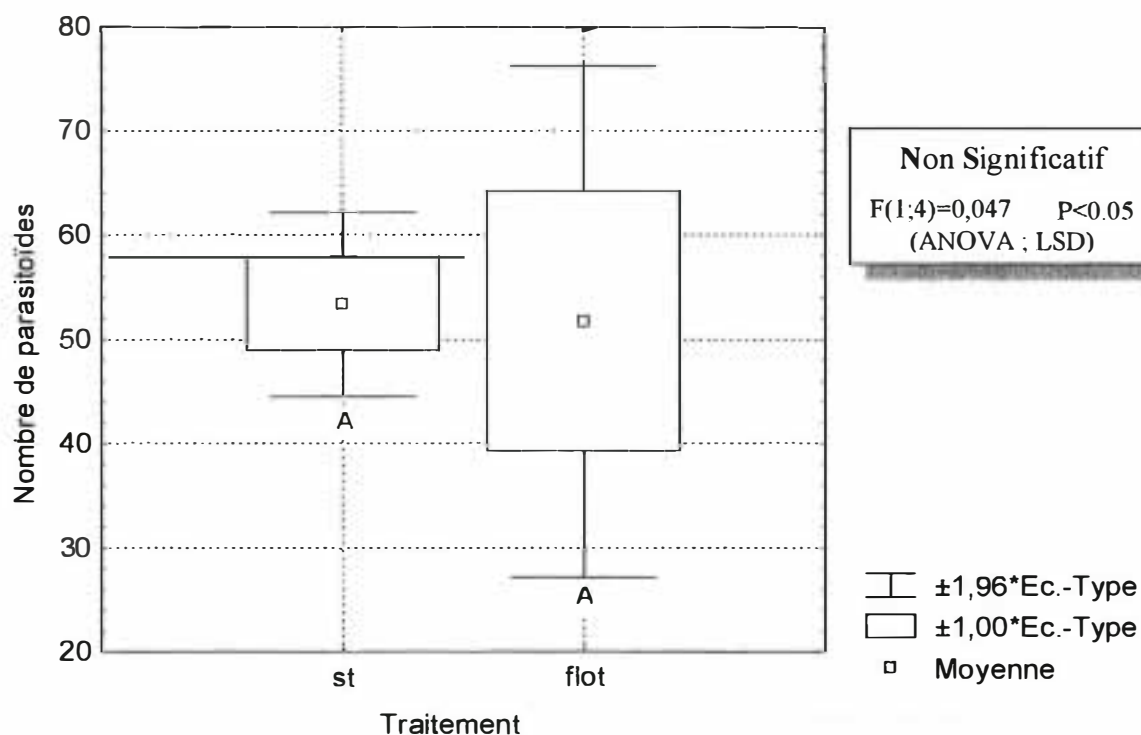


Figure 16 : Analyse statistique de l'influence du rinçage sur le nombre d'adultes de *Diachasmimorpha tryoni* émergés.

st : récolte de pupes standard, avec rinçage ; flot : flottaison, sans rinçage. Les traitements notés par la même lettre ne sont pas statistiquement différents. (Analyse statistique : ANOVA - LSD ; Statistica, Statsoft, 1997)

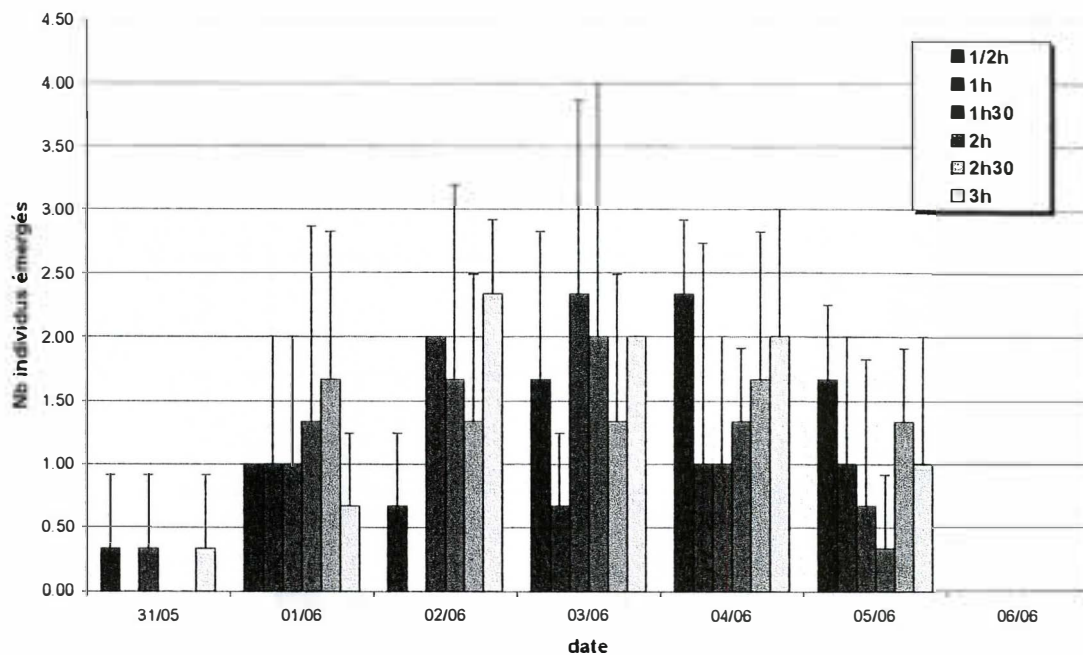


Figure 17 : Influence du temps de séchage des pupes sur l'émergence des adultes de *D. tryoni*.

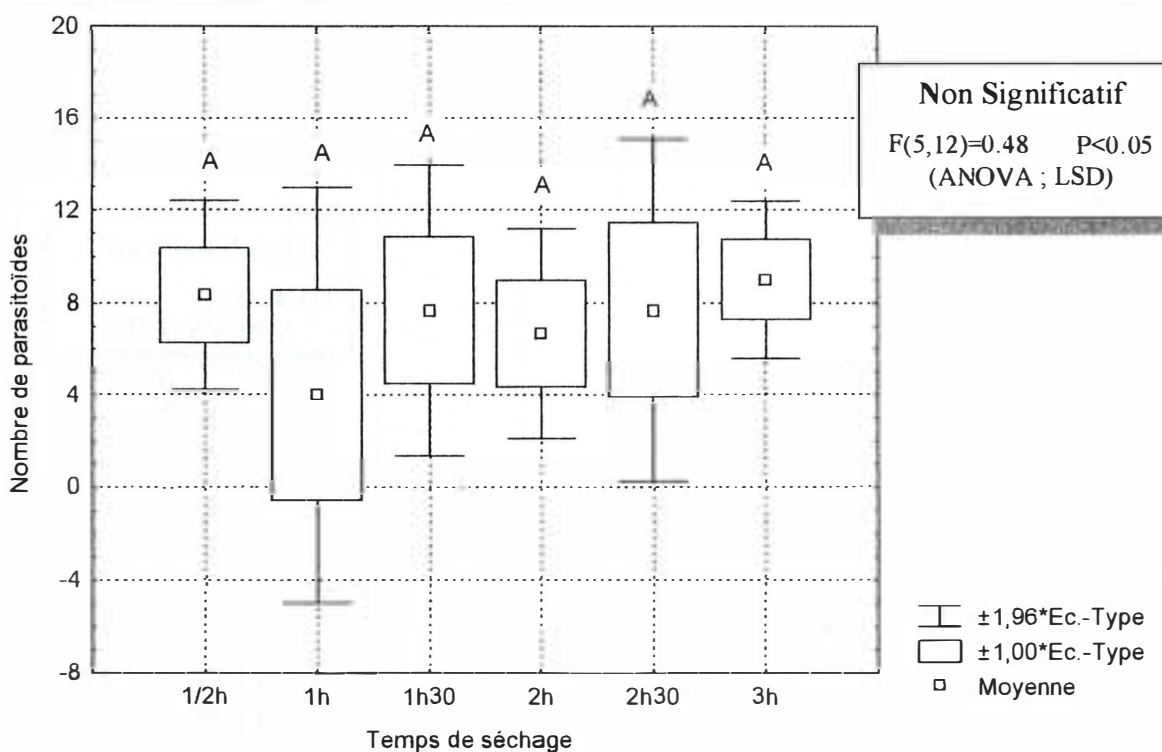


Figure 18 : Analyse statistique de l'influence du temps de séchage des pupes sur le nombre d'adultes de *Diachasmimorpha tryoni* émergés.

Les traitements notés par la même lettre ne sont pas statistiquement différents. (Analyse statistique : ANOVA - LSD ; Statistica, Statsoft, 1997)

Le suivi de l'évolution des émergences dans le temps (Figure 15) montre que les effectifs d'adultes de *D. tryoni* émergés sont assez proches avec les deux traitements.

L'analyse statistique (Figure 16) par le test *t* de comparaison nous permet de conclure que les deux techniques ne sont pas statistiquement différentes. De plus leur moyenne sont très voisine : 54 adultes de *D. tryoni* émergés pour la méthode standard, contre 52 pour la méthode dite de flottaison.

L'influence du rinçage n'est donc pas prouvée par cette expérience, et il semble que les rendements des deux techniques soient quasi identiques. On ne peut donc pas conclure sur l'amélioration possible du rendement par l'utilisation de la technique de flottaison. De plus, cette dernière est beaucoup plus fastidieuse à exécuter, notamment en ce qui concerne la récupération des pupes à la surface de l'eau.

2.3. INFLUENCE DU TEMPS DE SECHAGE DES PUPES

Nous avons vu précédemment l'intérêt d'une humidification lors de la récupération de pupes. Celle-ci implique en retour un séchage avant le stockage jusqu'à l'émergence des adultes. Ce séchage permet d'éviter les problèmes liés aux moisissures et bactéries. Le temps de séchage est un paramètre important car il est directement lié à l'humidité présente dans les pupes : plus le temps de séchage est long et plus le taux d'humidité est faible chez les pupes, et vice versa.

L'observation du graphique des moyenne d'émergence des adultes de *D. tryoni* ne nous permet pas de tirer des conclusions (Figure 17). On ne note aucune tendance nette de l'influence des traitements, et l'on relève l'importance des écarts-types.

L'analyse statistique nous montre qu'aucun des temps de séchage testés n'est statistiquement différent de l'autre (test *t* de comparaison) (Figure 18). Les moyennes pour chacun se situent entre 4 et 9 adultes de *D. tryoni* émergés. Ce résultat peut paraître curieux puisqu'on a montré précédemment l'importance de l'humidité pour les pupes. Or, ici, l'humidité de conservation des pupes semble sans importance. On peut se demander si notre expérience est bien représentative des conditions présentes lors des manipulations de laboratoire. En effet, 200 pupes dans une boîte aérée sécheront plus vite que 1000 ou 5000 pupes dans une petite boîte. Les conditions réelles impliquent une agrégation des pupes lors du séchage et du stockage. Cet entassement des pupes augmente la rétention d'eau dans les interstices ainsi créés entre les pupes et le taux d'humidité reste assez haut, alors que dans notre expérience les espaces entre les pupes sont tels que toute l'eau est rapidement évaporée à 25°C.

Ainsi, il est possible que les résultats de notre expérience sur les temps de séchage ne soient pas forcément transposables dans les conditions réelles de l'élevage en laboratoire.

3. RESULTATS DE L'ETUDE COMPORTEMENTALE

Pour chaque expérience, on a calculé différents paramètres : tout d'abord des paramètres quantitatifs :

- ☐ Temps de vol total par femelle
- ☐ Temps passé à proximité de la source (le "tiers avant" du tunnel et la source elle-même) par femelle
- ☐ Temps de latence moyen par femelle. Ceci correspond à la durée entre l'exposition des antennes de la femelle au flux d'air et l'envol de cette dernière.

Puis des paramètres qualitatifs :

- ☐ Pourcentage d'envol des femelles
- ☐ Pourcentage d'atterrissage des femelles sur la source, ou pourcentage de découverte de la source

Pour chaque calcul, on a effectué les statistiques correspondantes pour connaître la signification des résultats ainsi que des tests de comparaisons. Ainsi, les lettres associées aux graphes ont une valeur de comparaison : si deux objets d'un graphique ont la même lettre, cela signifie qu'ils ne sont pas statistiquement différents.

3.1. INFLUENCE DE LA PERIODE DE LA JOURNEE

Avant de tester l'influence des stimuli visuels et olfactifs, il convient de déterminer les conditions abiotiques optimales pour avoir le taux de réponse le plus élevé, *D. tryoni* étant un parasitoïde dont le taux de réponse en tunnel de vol est assez faible (Hurtrel, 2000). Le manque de temps et de femelles ne nous a permis d'étudier que la période de la journée.

❖ Paramètres quantitatifs (Figure 19)

En ce qui concerne le temps passé à proximité de la source, on ne note aucun résultat significatif. Par contre, en ce qui concerne la durée de vol et le temps de latence par femelle, on observe des différences significatives : le temps de vol des femelles et le temps de latence apparaissent plus importants en début d'après-midi que le matin.

❖ Paramètres qualitatifs (Figure 20)

Cette tendance est confirmée en ce qui concerne le pourcentage d'envol : 80% l'après-midi contre 50% le matin. Par contre, on ne peut conclure en ce qui concerne le pourcentage d'atterrissage sur la source.

Ainsi donc, la période de la journée semble avoir une influence sur le pourcentage d'envol des femelles de *D. tryoni*, ainsi que sur la durée de vol.

Or, les pontes des femelles de *D. tryoni* présentent deux pics au cours de la journée : au lever et au coucher du soleil. Pour les périodes retenues lors de notre étude (matin : 8h à 10h et après-midi : 13h à 15h), les pontes sont équivalentes (Hurtrel, 2000). On aurait donc pu s'attendre à ce que ces deux périodes ne se différencient pas dans notre étude, ou même que la période du matin soit la plus favorable car le rythme de prénymphose des larves du troisième stade de *C. capitata* atteint un pic après le lever du soleil, vers les 8h (Hurtrel, 2000). Comme à ce moment-là, les larves sont le plus en périphérie du fruit, donc le plus accessibles aux

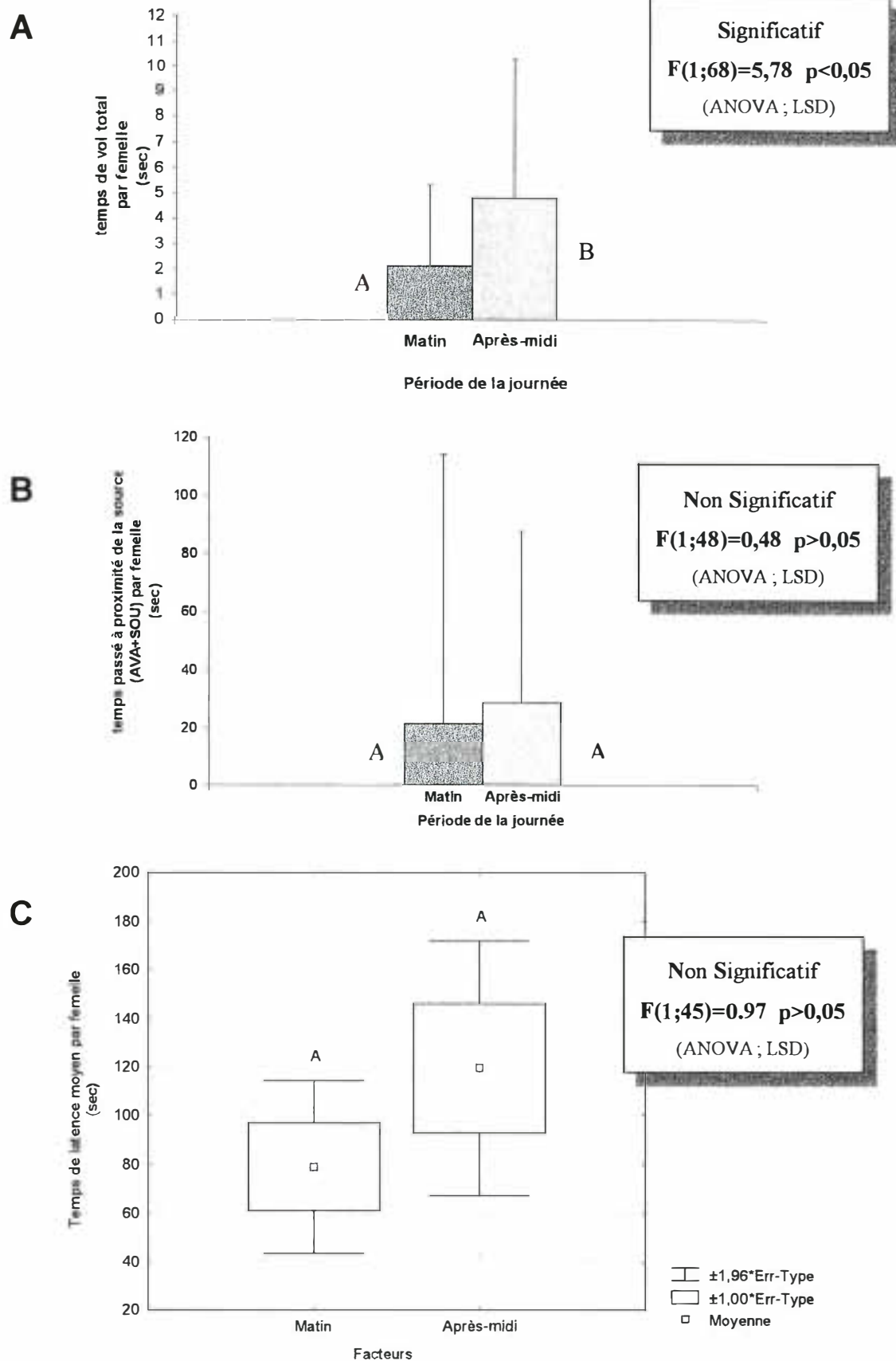


Figure 19 : Influence de la période de la journée sur différents paramètres quantitatifs de la réponse des femelles de *D. tryoni* (Analyse statistique : ANOVA-LSD ; Statsoft-France, 1997). **A**, temps de vol total par femelle ; **B**, temps passé à proximité de la source ("tiers avant"+"source") par femelle; **C**, temps de latence moyen par femelle.

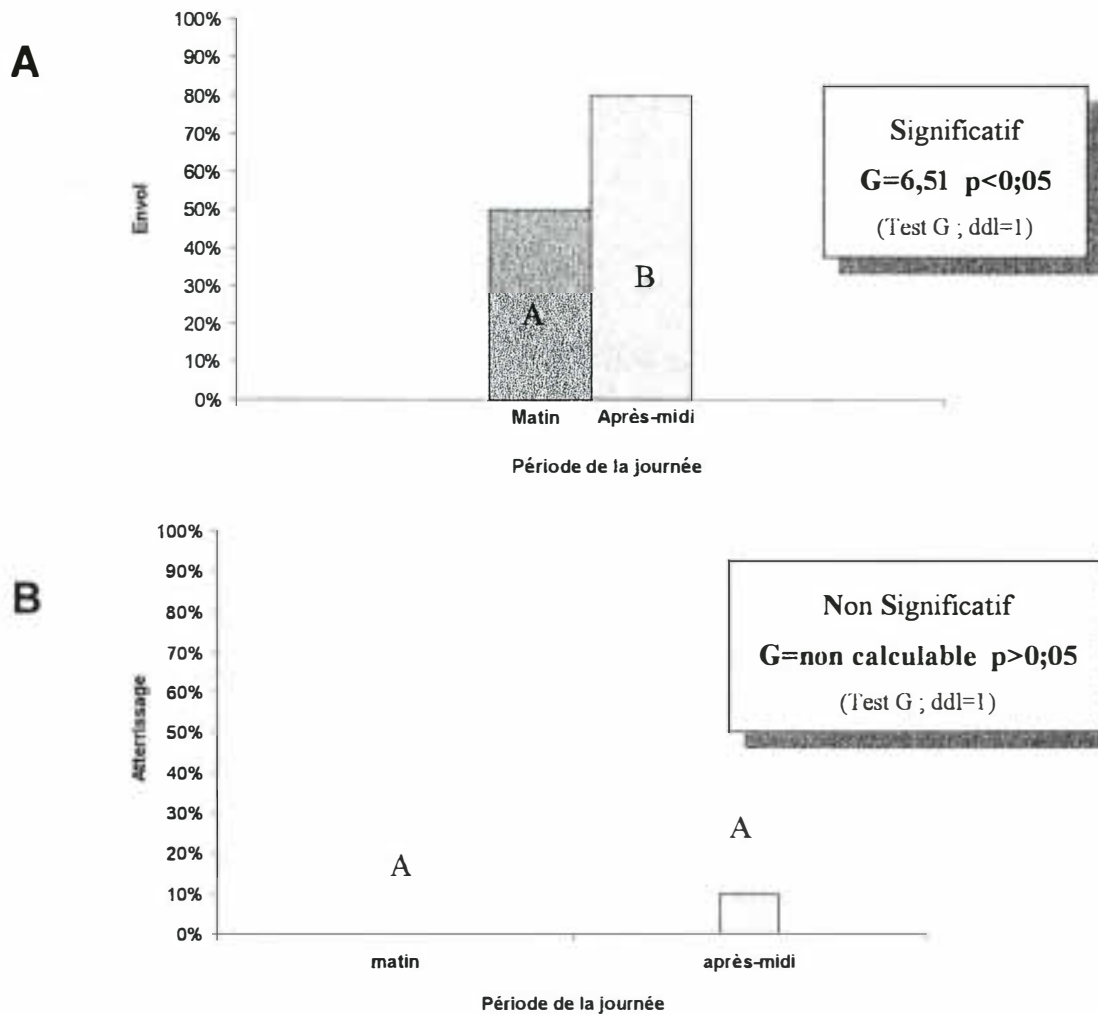


Figure 20 : Influence de la période de la journée sur différents paramètres qualitatifs de la réponse comportementale des femelles de *D. tryoni* (Analyse statistique : Test G ; Scherrer, 1984). **A**, envol ; **B**, découverte de la source.

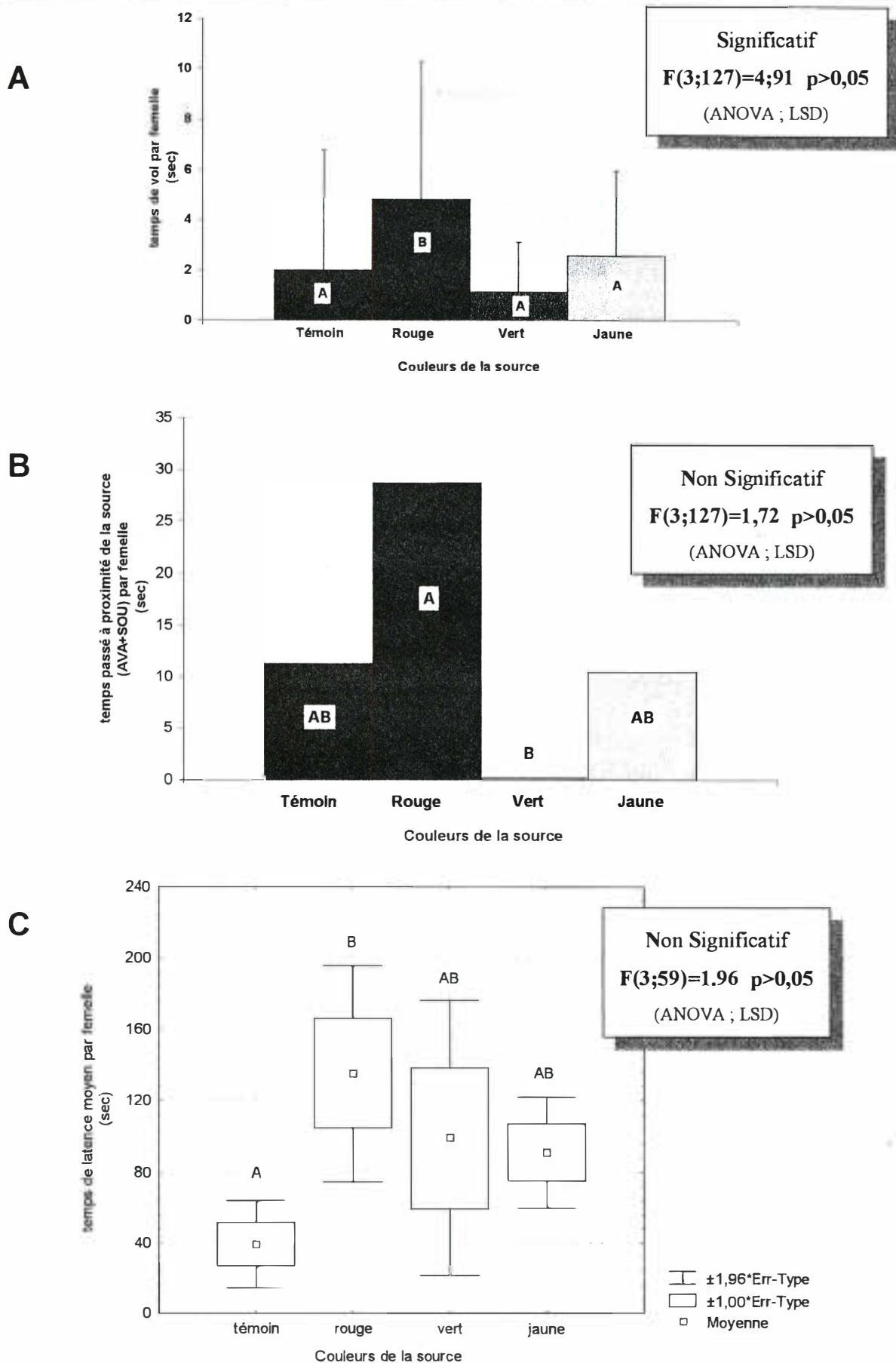


Figure 21 : Influence de la couleur de la source sur différents paramètres quantitatifs de la réponse des femelles de *D. tryoni* (Analyse statistique : ANOVA-LSD ; Statsoft-France, 1997). **A**, temps de vol total par femelle ; **B**, temps passé à proximité de la source ("tiers avant"+"source") par femelle; **C**, temps de latence moyen par femelle.

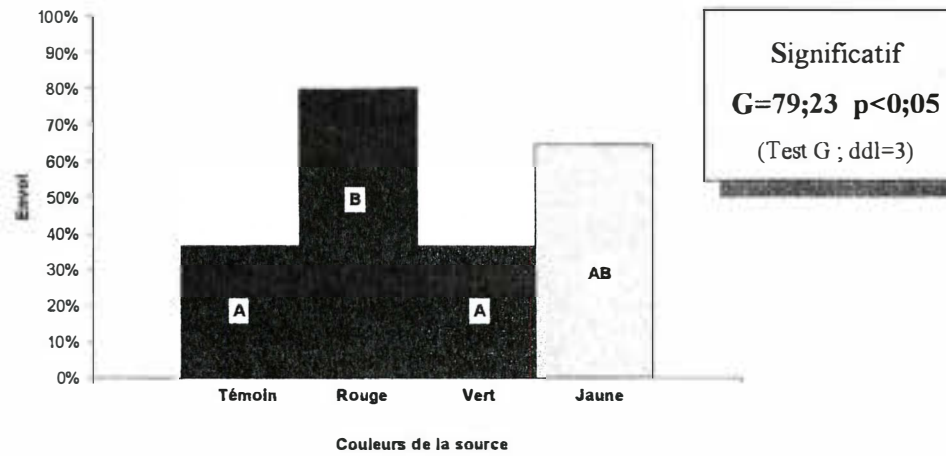
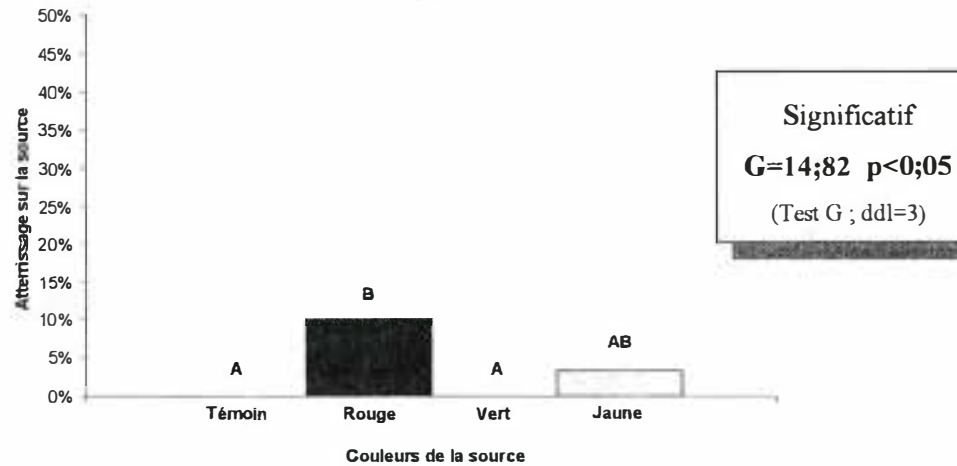
A**B**

Figure 22 : Influence de la couleur de la source sur différents paramètres qualitatifs de la réponse comportementale des femelles de *D. tryoni* (Analyse statistique : Test G ; Scherrer, 1984).

A, envol ; **B**, découverte de la source.

femelles de *D. tryoni*, on aurait pu penser que lors des expériences en tunnel de vol, le matin eut été plus favorable que l'après-midi.

Il est possible que les résultats aient été influencés par le fait que nous ayons travaillé avec des femelles naïves qui, sous la pression de ponte, peuvent présenter un comportement de ponte important quelle que soit l'heure de la journée. Le fait que les adultes de *D. tryoni* soient nourris le matin juste avant l'expérience du matin a peut-être aussi influencé les résultats.

3.2. INFLUENCE DE LA COULEUR DE LA SOURCE

❖ Paramètres quantitatifs (Figure 21)

Le temps de vol nous montre une influence nette de la couleur de la source. Le temps de vol est en effet significativement supérieur en présence de la couleur rouge qu'en présence des autres couleurs ou du témoin. Les deux autres couleurs (jaune et vert) et le témoin ne sont pas statistiquement différents. De même, le temps passé à proximité de la source est significativement supérieur en présence de la couleur rouge qu'en présence de la couleur verte.

❖ Paramètres qualitatifs (Figure 22)

L'analyse des pourcentages d'envol et de découverte de la source permet de tirer des conclusions : le pourcentage d'envol est significativement plus important en présence de la couleur rouge qu'en présence de la couleur verte ou du témoin. La couleur jaune ne se différencie pas significativement de la couleur rouge d'une part et des deux autres couleurs d'autre part. En ce qui concerne la découverte de la source, les seules réponses observées le sont en présence des couleurs rouge et jaune. La couleur verte ne se différencie pas du témoin, quel que soit le paramètre considéré.

Ces résultats indiquent que la couleur rouge est attractive pour les femelles de *D. tryoni*. On peut noter que *C. capitata* a de nombreux fruits-hôtes de petite taille et de couleur rouge ou noire (café, elengi, cerise à côte, cerise du Brésil, goyavier de Chine...). *C. capitata*, ainsi que de nombreuses espèces de Tephritidae, est également très attirée par la couleur jaune (Nergel, 1997).

En outre, la couleur rouge-grenat utilisée correspond plus ou moins à celle de certains fruits pourris et l'on sait que les femelles de *D. tryoni* sont attirées par des fruits infestés et, dans une moindre mesure, par des fruits pourris. Par contre, un fruit sain ne déclenche aucune réaction chez ces dernières (Hurtrel, 2000). C'est peut-être pour cela que la couleur verte déclenche ici peu de réponse comportementale.

Enfin, cette attractivité du rouge-grenat peut être due à un effet de contraste de cette couleur dans le tunnel de vol (de couleur blanche), les autres couleurs étant moins contrastées avec le milieu environnant. Il serait intéressant de faire des essais pour savoir si les femelles de *D. tryoni* sont bien attirées par la couleur rouge ou par le contraste qu'elle représente dans le milieu.

Cette expérience nous permet de vérifier que les femelles de *D. tryoni* peuvent réagir en fonction d'un stimulus visuel. En effet, en présence d'un même stimulus olfactif, les réponses varient selon le stimulus visuel (la couleur de la source).

3.3. INFLUENCE DE LA NATURE DU STIMULUS

❖ Paramètres quantitatifs (Figure 23)

L'analyse des temps de vol et de latence moyens nous montre une différence significative entre la combinaison de stimuli olfactifs et visuels et le témoin (absence de stimulus) qui, curieusement, présente un temps de latence plus faible. Au niveau du temps de vol on constate une réponse plus élevée pour la combinaison de stimuli. Les stimuli olfactifs seuls induisent une réponse beaucoup plus faible, qui n'est pas statistiquement différente du témoin.

L'analyse du temps passé à proximité de la source montre une meilleure réponse pour la combinaison de stimuli (30 sec), puis pour les stimuli olfactifs seuls (11,5 sec), devant le témoin, avec une durée assez faible (2 sec). On n'observe toutefois une différence significative qu'entre la combinaison de stimuli et le témoin.

❖ Paramètres qualitatifs (Figure 24)

L'analyse des pourcentages d'envol et de découverte de la source nous montre une meilleure réponse en présence de la combinaison de stimuli olfactifs et visuels. Elle est en effet significativement supérieure à la réponse au stimulus olfactif seul et au témoin (les deux n'étant pas statistiquement différents).

Ainsi, les femelles de *D. tryoni* répondent à une combinaison de stimuli olfactifs et visuels. L'attractivité résulte d'une combinaison complexe des deux types de stimuli qui interagissent sur le système nerveux de la femelle pour provoquer un comportement de vol et de ponte.

En considérant d'une façon globale les trois expériences menées, et en comparant les résultats sur le temps de latence et le pourcentage d'envol, on constate qu'il semble exister une corrélation entre les deux : en effet, un pourcentage d'envol élevé semble associé à un long temps de latence. On pourrait en conclure que la femelle a besoin d'un certain temps avant de détecter convenablement la source et de prendre son envol. Il semble que quand elle ne détecte aucune source potentielle, elle s'envole aléatoirement, sans temps de "détection". Ainsi un temps de latence faible n'indiquerait pas forcément une attractivité de la source pour la femelle, mais plutôt une stimulation au vol. Hurtrel (2000), en étudiant l'influence de la nature de la source (comparaison de fruits pourris, infestés, sains et de larves seules lavées) a également montré une tendance similaire.

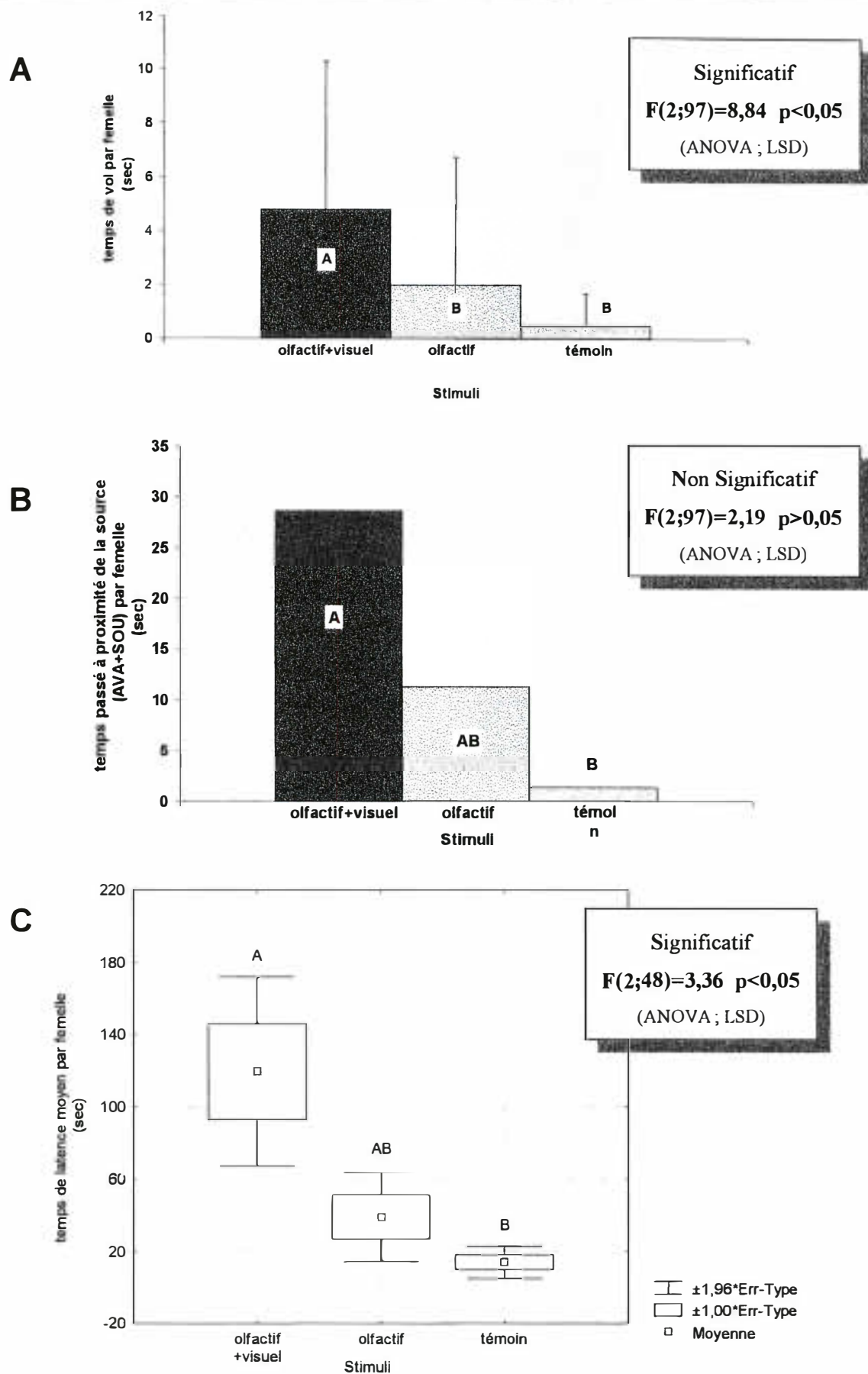


Figure 23 : Influence de la nature du stimulus sur différents paramètres quantitatifs de la réponse des femelles de *D. tryoni* (Analyse statistique : ANOVA-LSD ; Statsoft-France, 1997). **A**, temps de vol total par femelle ; **B**, temps passé à proximité de la source ("tiers avant"+"source") par femelle; **C**, temps de latence moyen par femelle.

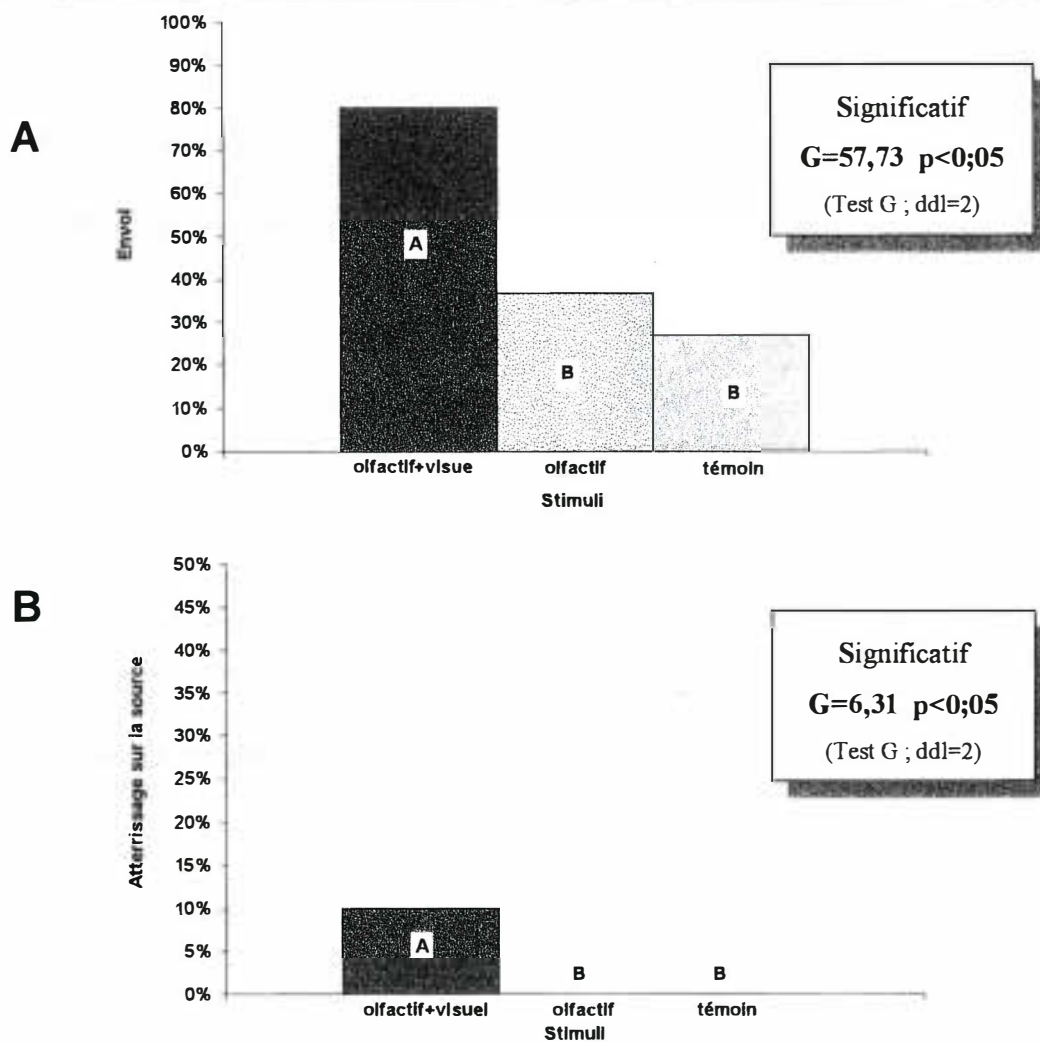


Figure 24 : Influence de la nature du stimulus sur différents paramètres qualitatifs de la réponse comportementale des femelles de *D. tryoni* (Analyse statistique : Test G ; Scherrer, 1984). **A**, envol ; **B**, découverte de la source.

CONCLUSION

CONCLUSION

Cette étude sur trois aspects (lâcher, élevage, comportement) de la connaissance et de l'utilisation du parasitoïde *Diachasmimorpha tryoni* (Cameron) nous a permis de dégager plusieurs conclusions.

En termes d'utilisation en lutte biologique, les lâchers effectués à moyenne altitude nous donnent des résultats prometteurs par rapport aux études antérieures, bien qu'il ne nous soit pas possible de conclure à l'acclimatation du parasitoïde. Toutefois, il serait très intéressant de poursuivre le suivi des lâchers dès la nouvelle fructification des caféiers du parc du Musée de Villèle pour vérifier la présence ou l'absence du parasitoïde. De plus, nous avons pu confirmer qu'un parasitoïde indigène, *Psytalia insignipennis* pondait dans les larves de *Ceratitis capitata* (Wiedemann). Il importerait d'étudier la biologie et l'écologie de cette espèce, afin de préciser les possibilités de son utilisation en lutte biologique.

L'étude des technique d'élevage de *D. tryoni* en vue d'une optimisation des rendements nous a permis de constater que le facteur humidité des pupes est primordial. Il importe de placer les pupes dans de l'eau, même un laps de temps très court, avant la phase de conservation des pupes. Ceci permet de les réhydrater et facilite un bon déroulement de la nymphose. La technique la plus rapide et la plus efficace semble être le tamisage avec un rinçage doux sous l'eau. Il est évident que les techniques utilisées ont un impact direct sur la capacité de production de l'élevage, qui doit être maximale en vue des lâchers dans la nature.

Enfin, l'étude de la réponse comportementale des femelles de *D. tryoni* en présence de différents stimuli nous a fourni certaines réponses sur les stimuli impliqués dans la recherche de l'hôte. Nous avons montré qu'en captivité, les femelles naïves ont une activité plus importante en début d'après-midi que le matin. Par ailleurs, les stimuli visuels jouent un rôle important dans la découverte de l'hôte : ainsi la couleur rouge s'avère attractive pour les femelles du parasitoïde. Il se peut toutefois que cette attractivité résulte plus du contraste entre la source et le milieu que de la couleur. Toutefois, une telle hypothèse devrait faire l'objet de nouvelles expérimentations. Les femelles ne répondent pas aux seuls stimuli visuels, mais à une combinaison de stimuli visuels et olfactifs. De nombreuses expériences doivent encore être conduites sur *D. tryoni* (sur la taille, la forme, la nature de la source). Cette espèce semble présenter un faible taux de réponse même en présence de sources de stimuli préférentielles. Aussi, l'étude de son comportement demande-t-elle beaucoup de patience et de ténacité.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- Back, E.A., C.E. Pemberton, 1918 The Mediterranean fruit fly in Hawaii. U. S. D. A. Bulletin. **536** : 119 pp.
- Baruffi, L., G. Damiani, C.R. Guglielmino, C. Bandi, A.R. Malacrida, G. Gasperi, 1995 Polymorphism within and between populations of *Ceratitidis capitata* : comparison between RAPD and multilocus enzyme electrophoresis data. Heredity. **74** : 425-437.
- Bateman, M.A., 1982 Chemical methods for suppression or eradication of fruit fly population. *In* : R. A. I. Drew, G. H. S. Hooper and M. A. Bateman (eds.) Economic Fruit Flies of the South Pacific Region, 2nd edition ed. Queensland Dept. of Primary Industries, Brisbane. pp. 115-128.
- Bess, H.A., 1953 Status of *Ceratitidis capitata* in Hawaii following the introduction of *Dacus dorsalis* and its parasites. Proc. Hawaii. Ent. Soc. **15** : 221-234.
- Bess, H.A., R. Van Den Bosch, F.H. Haramoto, 1961 Fruit fly parasites and their activity in Hawaii. Proc. Hawaii. Ent. Soc. **17** : 367-378.
- Brévault, T., 1999 Mécanismes de localisation de l'hôte chez la mouche de la tomate, *Neoceratitidis cyanescens* (Bezzi), (Diptera : Tephritidae). Thèse de doctorat-Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, Montpellier.
- Bunge-Vivier, V., 1993 Impact économique des mouches des fruits à la Réunion et perspectives de la lutte raisonnée. C.N.E.A.R.C., E.S.A.T.-2.
- Buyckx, E.J., J.P. Liedo, 1990 Mission d'étude sur une proposition de lutte autocide contre les mouches des fruits à la Réunion et à l'île Maurice. CIRAD-IRFA-Réunion. pp 57 pp.
- CABI, 1988 Distribution Maps of Pests ; Series A (Agricultural), Map n°1 : *Ceratitidis capitata* (Wiedmann) (Diptera : Tephritidae). 56 Queen's Gate, London.
- Cameron, P., 1911 On a collection of parasitic Hymenoptera (Chiefly bred), made by Mr. W. W. Frogatt, F.L.S., in New South Wales, with descriptions of new genera and species. Part I. Proc. Linn. Soc. N.S.W. **34** : 333-346.
- Christenson, L.D., R.H. Foote, 1960 Biology of fruit flies. Annu. Rev. Entomol. **5** : 171-192.
- Clausen, C.P., 1978 Tephritidae (Trypetidae, Trupaneidae). *In* : C. P. Clausen (ed.) Introduced parasites and predators of arthropod pests and weeds : a world review., vol. 480. United States Department of Agriculture Handbook. pp 320-325.
- DAF, 1997 L'agriculture réunionnaise. *In* : ARTAS (ed.) 4^{ème} congrès international de l'ARTAS ; 2^{ème} rencontre internationale en langue française de l'AFCAS. ARTAS, St-Denis, La Réunion. pp. 20-22.
- DAF, 1999 Agreste ; la statistique agricole. Mémento agricole, chiffres 1998. Direction de l'Agriculture et de la forêt du Département et de la Région Réunion / Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.
- Dauphin, S., 1998 Mise au point d'un outil d'études des stimuli olfactifs chez *Dacus ciliatus* (Diptera : Tephritidae). E.N.S.A.I.A.

- Delrio, G., B. Conti, A. Crovetto, 1986 Effect of abiotic factors on *Ceratitidis capitata* (Wied) (Diptera : Tephritidae). 1. Egg development under constant temperatures. In : R. Cavalloro (ed.) Fruit Flies of Economic Importance 84, Balkema, Rotterdam. pp 133-141.
- Delvare, G., H.P. Aberlenc, 1989 Les insectes d'Afrique et d'Amérique tropicale : clés pour la reconnaissance des familles. PRIFAS diffusion, pp. 302 pp.
- Doutt, R.L., 1959 The biology of parasitic hymenoptera. Annu. Rev. Entomol. **4** : 161-182.
- Drew, R.A.I., G.H.S. Hooper, M.A. Bateman, 1982 Economic Fruit Flies of South Pacific Region, 2nd edition (ed.). Queensland Dept. of Primary Industries, Brisbane. pp. 139 pp.
- Dridi, B., 1990 Etude de quelques aspects de la biologie de la mouche Méditerranéenne des fruits : *Ceratitidis capitata* (Wiedmann) (Diptera : Tephritidae). Différenciation entre souche d'élevage et population sauvage provenant d'Algérie. Thèse de doctorat-Université d'Aix-Marseille III.
- Etienne, J., 1968 Lutte contre les mouches des fruits à la Réunion. Communication à l'assemblée Générale de l'O.I.L.B. du 26 Mars 1968, IRAT. : 6.
- Etienne, J., 1972 Les principales Trypétides nuisibles de l'île de la Réunion. Ann. Soc. Ent. Fr. **8** : 485-491.
- Etienne, J., 1973 Lutte biologique et aperçu sur les études entomologiques diverses effectuées ces dernières années à la Réunion. L'Agronomie Tropicale. **28**.
- Etienne, J., 1982 Etude systématique, faunistique et écologique des Téphritides de la Réunion-Thèse de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, Paris.
- Fischer, M., 1967 Zusammenfassung der neotropischen Opiinae mit Ausschluss der gattung *Opius* Wesm. Beitr. Neotrop. Fauna. **5** : 1-21.
- Fischer, M., 1971 Hym. Braconidae. Index of World Opiinae. Le François, Paris, pp. 189 pp.
- Gourdon, F., 1998 Effet de la durée de la ponte sur la qualité de la descendance de *Diachasmimorpha tryoni* Cameron. CIRAD-FLHOR Réunion – Laboratoire d'entomologie.
- Hagen, K.S., W.W. Allen, L.R. Tassan, 1981 Mediterranean fruit fly. The worst may be yet to come. Calif. Agric. **35** : 5-7.
- Hagen, K.S., 1953 A premating period in certain species of the genus *Opius* (hymenoptera : Braconidae). Proc. Hawaii. Ent. Soc. **15** : 115-116.
- Hurtrel, B., 2000 Biologie du développement et écologie comportementale de deux parasitoïdes de mouches des fruits. Thèse de doctorat-Université de Rennes 1.
- Liquido, N.J., L.A. Shinoda, R.T. Cunningham, 1991 Host plants of the Mediterranean fruit fly (Diptera : Tephritidae) : an annotated world review. Miscell. Pub. Entomol. Soc. Amer. **77** : 1-52.
- Malacrida, A., C.R. Guglielmino, G. Gasperi, L. Baruffi, R. Milani, 1992 Spatial and temporal differentiation in colonizing populations of *Ceratitidis capitata*. Heredity. **69** : 101-111.

- Malvolti, A., 1998 Enquête écologique sur les parasitoïdes de mouches des fruits (Diptera : Tephritidae), ravageurs d'importance économique à la Réunion. I.S.T.O.M.
- McDonald, P.T., D.O. McInnis, 1985 *Ceratitis capitata* : effect of host fruit size on the number of eggs per clutch. Ent. exp. & appl. **37** : 207-211.
- Messenger, P.S., N.E. Flitter, 1958 Effect of constant temperature environments on the egg stage of three species of Hawaiian fruit flies. Ann. Ent. Soc. Am. **51** : 109-119.
- Messing, R.H., L.M. Klungness, E.B. Jang, 1997 Effects of wind movement of *Diachasmimorpha longicaudata*, a parasitoid of tephritid fruit flies, in a laboratory flight tunnel. Ent. exp. & appl. **82** : 147-152.
- Météo-France, 1997 Atlas climatique de la Réunion, 79 pp.
- Montagneux, B., 1996 Présentation des élevages de routine de 6 espèces de Tephritidae et de 2 espèces de parasitoïdes larvo-pupaux. CIRAD FLHOR Réunion – Laboratoire d'entomologie.
- Mourikis, P.A., 1965 Data concerning the development of the immature stages of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wied.) (Diptera : Trypetidae) on different host fruits and on artificial media under laboratory conditions. Ann. Inst. Phytopathol. Benaki. **7** : 59-105.
- Nergel, L., 1997 Etude de l'influence de paramètres physiologiques sur l'attractivité de stimuli visuels et olfactifs chez les femelles de *Ceratitis capitata* (Wiedmann) (Diptera : Tephritidae). DESS Protection et valorisation du végétal, Univ. de Pau et des Pays de l'Adour.
- Orian, A.J.E., L.A. Moutia, 1960 Fruit flies (Trypetidae) of economic importance in Mauritius. Revue Agricole et Sucrière de l'Ile Maurice. **39** : 142-150.
- Pemberton, C.E., H.F. Willard, 1918 A contribution to the biology of fruit fly parasites in Hawaii. Journal of Agricultural Research. **15** : 419-466.
- Quilici, S., 1997 La mouche méditerranéenne des fruits ou cératite, *Ceratitis (Ceratitis) capitata* (Wiedmann) (Diptera : Tephritidae), nom anglais : Mediterranean fruit fly. Fiches techniques sur les ravageurs des cultures dans l'océan indien, CIRAD.
- Quilici, S., A. Barbet, 1997 Lutte biologique contre les *Tephritidae* : Programme 1997. Protocole de lâcher. Evaluation de l'acclimatation et de l'impact des parasitoïdes. CIRAD FLHOR Réunion – Laboratoire d'entomologie.
- Quilici, S., B. Montagneux, C. Simiand, 1996 Protocole de lâchers, de suivi de l'acclimatation, de la dispersion et de l'impact des parasitoïdes de *Tephritidae* (1996). CIRAD FLHOR Réunion – Laboratoire d'entomologie.
- Ramadan, M.M., T.T.Y. Wong, J.W. Beardsley, 1989a Survivorship, potential, and realized fecundity of *Biosteres tryoni* [Hymenoptera : Braconidae], a larval parasitoid of *Ceratitis capitata* [Diptera : Tephritidae]. Entomophaga. **34** : 291-297.
- Ramadan, M.M., T.T.Y. Wong, J.W. Beardsley, 1989b Insectary production of *Biosteres tryoni* (Cameron) (Hymenoptera : Braconidae), a larval parasitoid of *Ceratitis capitata* (Wiedmann) (Diptera : Tephritidae). Proc. Hawaii. Ent. Soc. **29** : 41-48.

- Roth, M., 1974 Initiation à la morphologie, la systématique et la biologie des insectes, vol. 23, pp. 223 pp. + 44 pl.
- Shoukry, A., M. Hafez, 1979 Studies on the biology of Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata*. Entomologia Experimentalis et Applicata. **26** : 33-39.
- Silvestri, F., 1914 Report on an expedition to Africa in search of the natural enemies of fruit flies (Trupaneidae) with descriptions, observations and biological notes. Territory of Hawaii, Board of Agriculture and Forestry, Division of Entomology Bulletin. **3** : 1-146.
- Simon, A., 1998 Enquête sur les parasitoïdes de mouches des fruits (Diptera : Tephritidae), ravageurs d'importance économique à la Réunion. Mémoire E.S.I.T.P.A.
- Vargas, R.I., M. Ramadan, 1998 Comparisons of demographic parameters : six parasitoids (Hymenoptera : Braconidae) and their fruit fly (Diptera : Tephritidae) hosts. Fifth International Symposium on Fruit Flies of Economic Importance – Current Global Scenario, Penang, Malaysia.
- Weems, H.V., 1981 Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedmann) (Diptera : Tephritidae). Entomology Circular, Division of Plant Industry, Florida Department of Agriculture and Consumers Service. **230** : 12 pp.
- Wharton, R.A., 1989 Classical biological control of fruit-infesting Tephritidae. In : A.S. Robinson and G. Hooper (eds) World Crop Pests – Fruit flies : Their biology, Natural Enemies and Control, vol. 3(B). Elsevier, Amsterdam. pp. 303-313.
- Wharton, R.A., F.E. Gilstrap, 1983 Key to and status of Opiine Braconid (Hymenoptera) parasitoids used in biological control of *Ceratitis* and *Dacus* sp (Diptera : Tephritidae). Ann. Ent. Soc. Am. **76** : 21-742.
- Wharton, R.A., P. M. Marsh, M.J. Sharkey, 1997 Manual of the new world genera of the family Braconidae (Hymenoptera) Special publication of the International Society of Hymenopterists, Washington.
- Wharton, R. A., S. Quilici, B. Hurtrel, I. Mercado, 1999 The status of two species of *Psytalia* Walker (Hymenoptera : Braconidae : Opiinae) reared from fruit-infesting Tephritidae (Diptera) on the Indian Ocean Islands of Réunion and Mauritius. African Entomology. **7** : 85-90.
- White, I.M., M.M. Elson-Harris, 1992 Fruit flies of economic significance : Their identification and bionomics. Redwood Press Ltd., Melksham, pp. 601 pp.
- Willard, H.F., 1920 *Opius fletcheri* as a parasite of the melon fly in Hawaii. Journal of Agricultural Research. **20** : 423-438.
- Wong, T.T.Y., M.M. Ramadan, 1992 Mass rearing biology of larval parasitoids (Hymenoptera : Braconidae : Opiinae) of tephritid flies (Diptera : Tephritidae) in Hawaii. In : T.E. Anderson and N.C. Leppla (eds) Advances in insect rearing for research and pest management. Westview, Boulder. pp. 405-426.
- Wong, T.T.Y., M.M. Ramadan, J.C. Herr, D.O. McInnis, 1992 Suppression of a Mediterranean fruit fly (Diptera : Tephritidae) population with concurrent parasitoid and sterile fly releases in Kula, Maui, Hawaii. J ; Econ. Entomol. **85** : 1671-1681.

Wong, T.T.Y., M.M. Ramadan, D.O. McInnis, N. Mochizuki, 1990 Influence of cohort age and host age on oviposition activity and offspring sex ratio of *Biosteres tryoni* (Hymenoptera : Braconidae), a larval parasitoid of *Ceratitis capitata* (Diptera : Tephritidae). J. Econ. Entomol. **83** : 779-783.

Wong, T.T.Y., M.M. Ramadan, D.O. McInnis, N. Mochizuki, J.I. Nishimoto, J.C. Herr, 1991 Augmentative releases of *Diachasmimorpha tryoni* (Hymenoptera : Braconidae) to suppress a Meriterranean fruit fly (Diptera : Tephritidae) population in Kula, Maui, Hawaii. Biol. Control. **1** : 2-7.